



CAPTURA DIGITAL DE PATRIMONIO CULTURAL

EXPERIENCIA DE TRABAJO CON EL FONDO DEL ARCHIVO ESPACIO P

Jesús Robledano Arillo

ars **activus**
ediciones

LA CAPTURA DIGITAL DE PATRIMONIO CULTURAL

EXPERIENCIA DE TRABAJO CON EL FONDO DEL ARCHIVO ESPACIO P

Jesús Robledano Arillo



Título:

La captura digital de patrimonio cultural.

Experiencia de trabajo con el fondo del archivo Espacio P

Serie:

Espacio P en contexto, 2

Proyecto de investigación “Archivo de Espacio P: Propuesta Metodológica para su Continuidad Digital” (2014-2017).

Ministerio de Economía y Competitividad,

Gobierno de España.

Ref. MINECO HAR2013-44726-R

Participantes:

Universidad Carlos III de Madrid,

Universidad de Granada,

Universidad de La Laguna,

Universidad de Vigo

© Jesús Robledano Arillo

© de las ilustraciones, Jesús Robledano Arillo

© de las fotografías, sus autores

ISBN 978-84-944588-2-8

ÍNDICE

Introducción.....	17
Capítulo 1. Modelos de calidad en la digitalización de patrimonio artístico...	23
1.1 Finalidad y componentes	23
1.2 El valor de los principios y criterios en un modelo de calidad	37
Capítulo 2. Requisitos generales de calidad para las capturas de tipos documentales con salida imagen digital raster	47
2.1 Introducción.....	47
2.2 Estados de imagen y métodos de codificación para las imágenes másteres	48
2.2.1 Introducción a los estados de imagen y sus sistemas de codificación admitidos	48
2.2.2 Algunas consideraciones sobre el uso del espacio de color RGB.....	54
2.2.3 Esquema de flujo de trabajo con gestión de color ICC	55
2.2.4 Imágenes en espacio de color RGB renderizado y descrito por un perfil de color ICC	61
2.2.4.1 Principios de codificación	61
2.2.4.2 Evolución del concepto de renderización en la estandarización de los perfiles ICC.....	69
2.2.4.3 Imágenes en el espacio de color del dispositivo con datos en bruto y perfil ICC específico de dispositivo	81
2.2.4.4 Imagen no lineal en espacio de color RGB independiente de dispositivo	87

2.2.5 Codificación RGB en estado de imagen input referred en el espacio de color RIMM RGB.....	91
2.2.6 Codificación RAW. En el espacio de color del sensor de imagen del dispositivo.....	98
2.2.7 Codificación HDR.....	99
2.2.8 Codificación multiespectral	102
2.2.9 Recapitulación sobre la alternativa elegida para los másteres. Información lo más en bruto posible	115
2.3 Control de aseguramiento de calidad previo a la captura.....	121
2.3.1 Uniformidad en la iluminación del documento	123
2.3.2 Paralelismo entre superficie del documento y plano focal.....	124
2.3.3 Calidad cromática derivada de la exactitud del perfil de color y del proceso de gestión de color aplicado en la captura, procesado y representación digital de la imagen	124
2.3.3.1 Nota importante sobre el uso del programa Imatest® para la evaluación de la calidad cromática.....	124
2.3.3.2 Desviación de color	125
2.3.3.3 Balance de blancos	126
2.3.4 Calidad tonal y ruido.....	127
2.3.4.1 Rango dinámico.....	127
2.3.4.2 Ruido	128
2.3.4.3 Contraste. OECF.....	129
2.3.4.4 Tolerancia/error de exposición	134
2.3.4.5 Recortes tonales en luces y sombras.....	136
2.3.5 Calidad óptica	138
2.3.4.1 Corrección de la tasa de muestreo.....	139
2.3.4.2 Capacidad resolutive.....	139
2.3.4.3 Aberración cromática lateral.....	145
2.3.4.4 Distorsiones geométricas	146
2.3.6 Grado de curvatura del documento en la imagen digital.....	147
2.3.7 Grado de inclinación del documento	148
2.3.8 Presencia de artefactos	148
2.3.9 Otros errores de captura no admitidos.....	151
2.4 Pautas para la aplicación de procesos de trabajo específicos	153
2.4.1 Ajustes sobre la imagen digital no permitidos para la imagen máster	153
2.4.2 Rotación de la imagen	154

2.4.3 Recorte del área de captura.....	154
2.4.4 Pautas para el uso de cámaras fotográficas digitales.....	154
2.4.5 Toma de imágenes complementarias ante la captura de documentos u objetos que muestren relieve	157
2.4.6 Los sistemas de nomenclatura y organización de ficheros.....	160
2.4.6.1 Normativa de nomenclatura general de ficheros y carpetas	160
2.4.6.2 Sistema de organización de los ficheros en los discos de almacenamiento	161
2.5 Control de calidad postcaptura	163
2.5.1 Control automático sobre las cartas de control independientes.....	165
2.5.2 Control visual sobre cabina visualización de muestra	166
2.5.3 Visual completo de todos los objetos con visor en modo tira	166
2.5.4 Pautas a seguir en las pruebas de softproofing	166
2.5.5 Control de metadatos técnicos y códigos hash.....	169
Capítulo 3. Requisitos específicos de calidad para el medio imagen digital raster.....	171
3.1 Introducción.....	171
3.2 Dibujos y otras formas de expresión autógrafas sobre soporte opaco..	171
3.2.1 Dispositivo y herramientas de captura.....	171
3.2.2 Elementos de control por toma que deben ser capturados junto a las obras.....	172
3.2.3 Capturas de cartas de control independientes a las tomas	172
3.2.4 Variables técnicas de captura y de fichero	176
3.2.4.1 Versiones máster	176
3.2.4.2 Versiones derivadas.....	177
3.3 Positivos fotográficos.....	178
3.3.1 Dispositivo y herramientas de captura.....	178
3.3.2 Elementos de control por toma que deben ser capturados junto a las obras.....	178
3.3.3 Capturas de cartas de control independientes a las tomas	178
3.3.4 Variables técnicas de captura y de fichero	178
3.3.4.1 Versiones máster	178
3.3.4.2 Versiones derivadas.....	179
3.4 Diapositivas, transparencias en color o blanco y negro y negativos fotográficos.....	179
3.4.1 Dispositivo y herramientas de captura	179

3.4.2 Elementos de control por toma que deben ser capturados junto a las obras.....	180
3.4.3 Capturas de cartas de control independientes a las tomas.....	181
3.4.4 Variables técnicas de captura y de fichero.....	184
3.4.4.1 Versiones máster.....	184
3.4.4.2 Versiones derivadas	185
3.4.4.3 Versiones máster de negativos	185
3.4.4.4 Versiones derivadas de negativos	187
3.5 Documentos textuales	187
3.5.1 Dispositivo y herramientas de captura	188
3.5.2 Elementos de control por toma que deben ser capturados junto a las obras.....	188
3.5.3 Capturas de cartas de control independientes a las tomas.....	188
3.5.4 Variables técnicas de captura y de fichero	188
3.5.4.1 Versión master	188
3.5.4.2 Versiones derivadas	189
Capítulo 4. Requisitos específicos de calidad para el medio audiovisual.....	193
4.1 Introducción.....	193
4.2 Especificaciones del control de calidad.....	193
4.2.1 Alternativa elegida para los másteres	193
4.2.2 Requisitos previos a las capturas de video.....	194
4.2.3 Control de aseguramiento de calidad previo a la captura	197
4.2.4 Control de calidad postcaptura	199
4.2.4.1 Introducción.....	199
4.2.4.2 Pautas generales	200
4.2.4.3 Pruebas de calidad visuales con apoyo automatizado para la señal de imagen	206
4.2.4.4 Pruebas de calidad completamente automáticas	221
4.2.4.5 Pruebas de calidad específicas para la señal de audio presente en los vídeos	223
4.2.4.6 Pruebas de calidad sobre el patrón de barras y tono de calibración SMPTE Engineering Guideline EG 1-1990 reference bars	227
4.2.5 Ajustes sobre la imagen y sonido digital no permitidos para la imagen máster	233
4.2.6 Metadatos de captura.....	234
4.2.7 Informe de procesamiento de la señal digital aplicado a las capturas	234

4.3 Captura de elementos de control de calidad adicionales.....	234
4.4 Variables técnicas de captura y fichero para vídeo	235
4.4 Variables técnicas de captura y fichero para película de Cine	238
4.5 Variables técnicas de captura y fichero para contenidos sonoros.....	239
4.5.1 Discos de vinilo.....	239
4.5.2 CD Audio.....	240
4.5.3 Audio Casetes.....	240
4.6 Sistema de organización de los ficheros en los discos de almacenamiento.....	241
Bibliografía.....	245

Resumen

La preocupación por obtener calidad en la digitalización de obras de arte o de documentos relacionados con el trabajo artístico no puede quedar al margen en ningún proyecto orientado a esta finalidad. La calidad es la garantía de que la obra de arte o las evidencias de su creación no quedan desvirtuadas en los objetos digitales que las representan en los sistemas de difusión museísticos o en las exposiciones virtuales.

En este trabajo abordamos todos los elementos determinantes de la calidad de los procedimientos de captura digital. Comenzamos definiendo el concepto de modelo de calidad y desarrollando sus fundamentos teóricos y elementos técnicos y organizativos constituyentes, siempre dentro del contexto de la digitalización de patrimonio artístico y cultural. Nuestra aproximación de calidad descansa en la idea de que los objetos digitales derivados de este proceso deben ser fieles representantes a nivel físico y perceptual de los correspondientes originales, no siendo admisible aplicarles ninguna reinterpretación de su contenido plástico, sonoro o textual.

Bajo esta premisa, hemos desarrollado el conjunto de especificaciones técnicas de control de calidad y captura digital a ser aplicadas en los trabajos de digitalización del fondo de archivo de Espacio P, estructurándolos en requisitos generales y particulares para los medios imagen fija y audiovisual.

La variedad tipológica que encontramos en el fondo documental y artístico del Archivo de Espacio P nos ha permitido abarcar un amplio abanico de medios y formatos de soportes físicos y electrónicos analógicos. Por este motivo, creemos que el contenido de nuestro trabajo puede ser aplicado a una gran variedad de instituciones que custodien fondos documentales y artísticos de diverso tipo y estén planteando proyectos de digitalización de sus contenidos.

Introducción

La monografía que aquí presentamos es fruto de los trabajos de investigación y digitalización realizados dentro del marco del proyecto de investigación “Archivo de Espacio P: Propuesta Metodológica para su Continuidad Digital” (2014-2017)¹. En sus páginas tratamos de reflejar el resultado final del desarrollo de un modelo de calidad que está siendo aplicado a las digitalizaciones de documentos y materiales artísticos de este legado. Obtener calidad en los objetos digitales es un aspecto esencial en la digitalización de obras y documentos en el contexto del patrimonio artístico o histórico cultural; es un imperativo para cualquier proyecto orientado a la digitalización de este tipo de materiales. Por este motivo, no ha sido obviado en los trabajos de digitalización del fondo documental y artístico del Archivo de Espacio P.

La investigación ha partido del estado de la cuestión sobre cómo abordar las digitalizaciones de materiales patrimoniales, y, muy especialmente, del producto de dos líneas de trabajo que han venido arrojando en los últimos años avances interesantes: los sistemas de control de calidad y los sistemas de codificación de imágenes que son aptos para procurar representaciones digitales con un alto grado de fidelidad. La primera línea se ha centrado en la aplicación de parámetros de control de calidad de tipo físico a equipamientos y procesamientos de captura y a los propios objetos digitales resultantes mediante sistemas automatizados. Nuestro objetivo para esta línea ha sido identificar las principales aportaciones, evaluarlas y recoger aquellos parámetros de control y rangos de valores de aceptación que hemos estimado aptos para el desarrollo de nuestro modelo de sistema. También hemos considerado las limitaciones de esta perspectiva y tratado de señalar posibles vías de trabajo para su superación.

La segunda línea presenta muchos frentes de trabajo, provenientes de distintos ámbitos de la Ciencia y la Tecnología de la Imagen, tales como la captura y codificación multiespectral, la codificación RGB (*Red Green Blue*)

¹ Proyecto financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, Gobierno de España. Ref. MINECO HAR2013-44726-R, que ha tenido como participantes a investigadores de la Universidad Carlos III de Madrid, Universidad de Granada, Universidad de La Laguna y Universidad de Vigo.

para representación renderizada y no renderizada de las imágenes patrimoniales, los sistemas de caracterización cromática y tonal de dispositivos, los perfiles de color normalizados y las tecnologías para el registro y representación de elementos tridimensionales de las superficies a capturar. El objetivo marcado con respecto a esta perspectiva ha sido identificar métodos de codificación aptos para las capturas en formato imagen fija y audiovisual de este proyecto. No es fácil encontrar sistematizaciones que hayan conjugado estas diferentes aportaciones para asentar un modelo de codificación de documentos y obras de arte digitalizadas, por lo que hemos tenido que hacer arduos procesos de evaluación de formas de codificación aplicables al objetivo de máxima fidelidad que es preciso perseguir en el contexto patrimonial.

Esta monografía se ha articulado en tres partes. En la primera se exponen los fundamentos teóricos de un modelo de calidad apto para las exigencias de la digitalización patrimonial. En la segunda se refleja la implementación de un modelo de calidad aplicado a las digitalizaciones del fondo de archivo de Espacio P. Esta sección se estructura en dos capítulos, que tratan, respectivamente, de los requisitos generales y particulares de calidad para el medio imagen fija raster. La tercera parte se centra en los requisitos del medio audiovisual.

El fondo documental y artístico del Archivo de Espacio P es un paradigma de lo que podemos encontrar en otros fondos de artistas polifacéticos que, como Pedro Garhel, han desarrollado una importante obra en los campos del *Media Art* y la *Performance*. Por este motivo, creemos que el contenido de nuestro trabajo puede ser de utilidad a aquellas instituciones que custodian legados de artistas con trayectorias similares y tienen proyectado poner en marcha trabajos de digitalización de sus contenidos.

El legado del Archivo Espacio P incluye un amplio volumen de documentación y manifestaciones artísticas fruto del trabajo personal de Pedro Garhel y de otros creadores que participaron de sus actividades plásticas, visuales, escénicas y sonoras². Presentamos a continuación, de manera muy esquemática, la tipología de contenidos de este legado, puesto que el modelo de calidad que exponemos más abajo se ha basado en las necesidades de sus tipos de soportes y formatos. Si atendemos a su medio de expresión, podemos agrupar su contenido en seis fondos: audiovisual, sonoro, gráfico no fotográfico, fotográfico, escrito y bibliográfico.

El fondo audiovisual consta de vídeo y película de cine. El vídeo se presenta en soporte cinta analógica en varios formatos profesionales y de uso doméstico: VHS (en varios formatos: S VHS, S VHS C y VHS C), U-matic, Betamax, Betacam SP y Hi8. La película de cine es de paso pequeño, en concreto, su formato es super 8 mm sin sonorizar.

² Para un conocimiento en profundidad de la trayectoria de Espacio P, recomendamos al lector la lectura del trabajo de Federico Castro Morales, Karin Ohlenschläger, Ana Quesada Acosta y Yanira Quintero Hernández, *Espacio P a través de Ello Dentro/Fuera*, publicado en Granada por Ars Activus Ediciones en el año 2017.

El fondo sonoro consta de tres tipos de soporte: discos de vinilo de 12 y 7 pulgadas, CD audio y audio cassetes.

El fondo gráfico no fotográfico consta de diferentes tipologías documentales en medio impreso y manuscrito, entre las que encontramos carteles, invitaciones, dibujos y otras formas de expresión artísticas autógrafas.

El fondo fotográfico consta de soportes traslúcidos y opacos. Los primeros contienen diapositivas, transparencias y filminas sobre soporte plástico. Sus formatos son variados, desde 16mm de ancho de película hasta 20x16 cm de ancho de placa. También hay negativos fotográficos en formato 35 mm en color y blanco y negro. Los soportes opacos son de papel fotográfico, que está representado con dos tipos de materiales: copias fotográficas en diversos tamaños (desde 10x15 cm hasta 33x42 cm, en B/N y color) y hojas de contacto de negativos en formato 35 mm en B/N y color. Muchos de los contactos pueden responder a trabajo creativo de los autores, no siendo una mera copia por contacto de su correspondiente negativo.

El fondo escrito consta de un gran número de cartas personales, manuscritas, mecanografiadas o faxes. Estas últimas con texto poco legible debido a la pérdida de densidad de los trazos. En la correspondencia se cuenta también con postales, algunas de ellas con valor especial al tener un tratamiento creativo mediante el uso de trazos o dibujos con intención artística. También hay carpetas colgantes con cartas y dosieres de artistas, festivales y distribuidoras de videoarte nacionales e internacionales.

El fondo bibliográfico consta de una variada tipología de materiales: folletos, libros, catálogos, revistas, manuscritos y recortes de prensa.

No podemos finalizar esta introducción sin agradecer al equipo de investigación del proyecto referido el trabajo y la ayuda prestada, muy especialmente a Federico Castro Morales, Karin Ohlenschläger y Yanira Quintero Hernández. También hemos de agradecer a Valentín Moreno, profesor del Departamento de Informática de la Universidad Carlos III de Madrid, toda la ayuda prestada y aprendizaje en los aspectos técnicos de control de calidad automatizado, sin los que no habría sido posible desarrollar muchos de los resultados que aquí presentamos. Hemos de agradecer, asimismo, la colaboración prestada por el Archivo Histórico Provincial de Santa Cruz de Tenerife, dependiente de la Consejería de Turismo, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias.

Primera Parte

Fundamentos teóricos

Capítulo 1. Modelos de calidad en la digitalización de patrimonio artístico

1.1 Finalidad y componentes

La definición de un modelo de calidad es un requerimiento fundamental en la fabricación de dispositivos de captura y reproducción de imágenes o de software para su procesado. La idoneidad de este tipo de productos depende en gran medida de la solidez del modelo. Por ello, la Ingeniería y Tecnología de la imagen los viene aplicando desde hace varias décadas, habiendo una amplia literatura científica dedicada a su fundamentación y desarrollo. Pese a la poca atención que se ha prestado a este tipo de modelos en el campo de la digitalización de patrimonio cultural y artístico, pensamos que también deberían ser ideados y utilizados como referencia en las tareas de selección y configuración de la tecnología a emplear y para la validación de los procedimientos de trabajo y sus resultados.

Un modelo de calidad de imagen es un esquema que identifica los atributos de los que depende la calidad de las imágenes y especifica los requisitos para su representación digital correcta. Para poder entender bien el alcance de un modelo de calidad en nuestro ámbito de trabajo, hemos de conocer con suficiente profundidad el concepto de calidad. Podemos definir calidad, de acuerdo a la Norma ISO 9000:2000 (Aenor, 2000), como el “grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos”. Una característica inherente es una propiedad relevante de algo. En un objeto cualquiera, a modo de ejemplo, podemos encontrar propiedades que nos resultarán muy familiares, tales como su forma, tamaño, textura, color u olor. Si trasvasamos esta idea al contexto de la digitalización de materiales documentales y artísticos, podemos observar en las imágenes digitales resultantes de este proceso muchas características inherentes que pueden ser medidas durante un control de calidad, entre otras, su resolución del detalle espacial, rango dinámico, fidelidad del color, resolución espacial, grado de inclinación de la imagen del material físico capturado, grado de curvatura, contraste, resolución de muestreo o profundidad de bit. Estas y otras características serán seleccionadas y descritas más abajo como parte esencial del modelo de calidad que proponemos.

Un requisito es una o un conjunto de condiciones que debe cumplir una característica inherente de aquello cuya calidad se está midiendo. Por ejemplo, un requisito de un objeto producido industrialmente podría ser que su peso entre de un rango concreto de valores o que su color sea exactamente igual a un patrón de color previamente especificado. Un defecto, problema o deficiencia es un incumplimiento de una característica de calidad respecto de un requisito o requisitos preestablecidos. Siguiendo el ejemplo anterior, un defecto podría ser que el objeto no tenga exactamente el mismo color que el patrón de referencia al que debe ajustarse. En una imagen digital, pongamos el caso, de una fotografía, un defecto podría corresponderse a una capacidad resolutive alcanzada insuficiente para representar detalle gráfico de pequeño tamaño que presenta la imagen física original capturada.

En el marco del control de calidad, si afirmamos que un producto tiene calidad estamos declarando dos cosas: el producto no tiene defectos (o, lo que es lo mismo, el producto presenta de forma correcta las características que debe cumplir) y el producto es idóneo para el uso para el que fue destinado en su fase de diseño. Si llevamos esta idea a la digitalización patrimonial, podemos identificar la calidad como el cumplimiento de las dos condiciones de calidad que acabamos de describir en los objetos digitales resultantes: no tienen defectos que mermen la necesaria relación de fidelidad entre la vista del material físico capturada y su representación digital, y son aptos para el uso al que están destinados. En suma, los productos de la digitalización deben presentar una serie de características ajustadas a unos requisitos que han sido fijados previamente y cuyo cumplimiento garantiza que los contenidos digitales puedan ser empleados para los propósitos de utilización previstos en el proyecto; esto es, que sean idóneos. Así, la base y garantía de éxito de un modelo de calidad que sustente un control eficaz de calidad debe ser la identificación y conocimiento exhaustivo de las características esenciales que determinan la idoneidad para el uso y sus requisitos, así como también la selección o desarrollo de métodos (lo que solemos denominar como métricas) y herramientas para su medición.

Es relativamente fácil que las características esenciales de los materiales a ser digitalizados que deben quedar bien representadas en sus objetos digitales correspondientes sufran merma en su calidad de representación, ya sea por errores durante la captura y el procesamiento posterior o por incapacidad de los dispositivos de captura para registrarlas correctamente. Esta circunstancia hace necesaria la aplicación de un control de calidad, que deberá abarcar dos facetas: aseguramiento de calidad y control de calidad de resultados. La primera faceta se ampara en la idea de prevención; su finalidad es controlar y evaluar los medios habilitados y las decisiones tomadas durante la fase de preparación del proyecto, así como visar los procedimientos que van a seguirse durante la fase de ejecución, de manera que se asegure que todos ellos van a producir resultados con la calidad requerida. Una parte vital de este proceso es la evaluación de los dispositivos y procedimientos de procesamiento digital; esta tarea conduce al conocimiento de sus límites, lo que ayuda a decidir sobre su idoneidad.

El control de calidad de los resultados se fundamenta en la comprobación; consiste en revisar los resultados a medida que se van obteniendo para

controlar que cumplen los requisitos de calidad marcados y, en caso contrario, rechazarlos y, tras el análisis de las causas de la merma de calidad, poner en marcha las medidas necesarias para asegurar su cumplimiento.

Es obvio que ambos aspectos de control deben estar presentes en un modelo de calidad. El aseguramiento de calidad es una piedra angular para la consecución de la calidad, pero no garantiza la calidad, puesto que en el proceso de captura pueden intervenir múltiples factores, humanos o técnicos, que merman la calidad que a priori debería conseguirse con un proceso de captura perfectamente planificado para la consecución de buenos resultados. De la misma manera, los modelos de calidad, por sí mismos, no crean calidad, requieren ir de la mano de un sistema de calidad, que habrá de ser implantado, necesariamente, en el proyecto de digitalización. Un sistema de calidad es una estructura organizativa, asignación de responsabilidades, procedimientos, procesos y recursos necesarios para llevar a cabo las tareas de aseguramiento y control de calidad. El sistema de calidad debe garantizar la programación de las tareas de calidad como parte del programa de actividades del proyecto de digitalización, asignándose responsabilidades, recursos humanos, recursos técnicos, instalaciones, procedimientos de trabajo, y tiempo y calendario para la realización de las tareas de calidad.

Como venimos afirmando, la potencia de un modelo de calidad reside en que la definición de características, requisitos y métricas sea completa y correcta. Estos tres elementos funcionan como eslabones de una cadena: cualquier fallo en alguno de estos tres aspectos provocará que el modelo sea ineficaz y, por consiguiente, poco sólidos los resultados del control de calidad. Por ello, en nuestro afán por desarrollar un modelo suficientemente robusto dentro del marco del proyecto Espacio P, hemos tratado previamente de llegar a un estado de la cuestión sobre estos tres aspectos.

En primer lugar, intentamos seleccionar aquellas características de los documentos físicos o electrónicos analógicos de cuya correcta representación depende la garantía de fidelidad de la señal digital a los originales. Esas características han tenido que ser abstraídas bajo la forma de parámetros físicos habituales en control de calidad de imágenes o audio digitales; así se facilita la aplicación de métricas ya desarrolladas fiables y factibles de utilizar con procedimientos y herramientas de bajo coste. A continuación, hemos tratado de identificar y seleccionar las mejores métricas y herramientas software y cartas de control para su medida, para, finalmente, identificar propuestas sistemáticas de requisitos para esos parámetros físicos con esas métricas. Este tipo de requisito adopta en las aproximaciones más sistemáticas la forma de rangos de valores numéricos admitidos. Cuando no hemos encontrado en la literatura científica parámetros, métricas y requisitos de aplicación factible para algunas características, las hemos desarrollado de manera particular para el proyecto.

Pese a varias décadas de trabajo en control de calidad de imágenes digitales, aún no podemos considerar que se haya conseguido un modelo de calidad de valor general en el campo de la digitalización de patrimonio histórico cultural y artístico. Este inconveniente nos ha obligado a realizar el desarrollo sistemático que presentamos en estas páginas. Pensamos que tal

carencia se explica por dos circunstancias. Por una parte, por la abundancia de aproximaciones simplistas que se amparan en la idea de que con las herramientas disponibles fácilmente en el mercado de productos de captura y edición de imágenes es posible obtener unos resultados aptos para las exigencias del patrimonio cultural y artístico, de la que se deriva la más aún errónea idea de que el proceso de control de calidad se asienta únicamente en la selección de valores adecuados para un número reducido de variables técnicas de captura y en la detección de problemas visuales de calidad muy aparentes. Por otra parte, hemos de reconocer que las aproximaciones más sistemáticas han chocado con la dificultad de definir atributos de medida de calidad determinantes y de establecer rangos de aceptación de sus valores a nivel perceptual. Existe una amplia literatura científica sobre control de calidad de imágenes mediante la aplicación de parámetros perceptuales, pero esta comunidad científica no se ha visto atraída por el campo patrimonial, motivo por el que no hemos de esperar muchos avances desde aquí en los próximos años.

Seguidamente, vamos a profundizar en los componentes de los modelos de calidad, centrándonos en el medio imagen. Estos modelos deben tomar formas matemáticas en aquellos de sus elementos que hacen uso de parámetros cuantitativos. Como tales, se representan mediante valores numéricos y ecuaciones. Sólo así son computables y, consiguientemente, aptos para el desarrollo de sistemas de control de calidad con un alto grado de automatización que garanticen la eficiencia y eficacia de sus procedimientos de trabajo. Dos de las aproximaciones matemáticas más comunes son el *Generalized Weighted Mean* y las métricas de Minkowski (Engeldrum, 1995). La calidad en este tipo de modelos se puede aproximar como una función que calcula la distancia euclídea de las imágenes degradadas con respecto a una imagen ideal en un espacio n dimensional, siendo las dimensiones los atributos incluidos en los experimentos (Robledano *et al.*, 2016). Estos son los modelos con los que contamos actualmente en el campo patrimonial y que explicaremos más abajo con más detalle. No obstante su utilidad, y como vamos a insistir al final de este epígrafe, somos de la opinión de que es necesaria una concepción de calidad de imagen que se fundamente en un modelo más completo que el que procuran este tipo de aproximaciones.

Peter Engeldrum ha creado desde 1989 un marco denominado *Image Quality Circle* (IQC) que intenta ser lo suficientemente exhaustivo como para sentar las bases de un modelo de carácter universal (Engeldrum, 1995, 1999, 2004). Hemos considerado el IQC ideado por este autor como un buen punto de partida. Listamos a continuación los elementos que incorpora este modelo de acuerdo a su formulación de 1999 (Engeldrum, 1999):

- a) Percepciones de usuario (*Customer Perceptions*). Son atributos perceptuales subjetivos. Podemos entenderlos como sensaciones que el usuario que percibe la imagen experimenta con respecto a atributos de tipo plástico, tales como el contraste, nitidez, saturación, luminosidad, brillo, etc. Los usuarios son capaces de percibir “más o

menos” la intensidad de cualquiera de estos atributos a la hora de establecer un *rating* de calidad de un conjunto de imágenes. Según Engeldrum, es aquí donde está la clave del control de calidad, pues los usuarios basan sus apreciaciones de calidad en estas percepciones.

- b) **Parámetros de imagen físicos (*Physical Image Parameters*)**. Son funciones cuantitativas que permiten medir aspectos físicos perfectamente objetivos de las imágenes, tales como el grado de transferencia de rangos de densidad, el grado de transferencia de detalle espacial, la aproximación colorimétrica, la relación Señal/Ruido, etc. Teóricamente, un buen rendimiento del sistema de captura y registro de imágenes en estos parámetros, garantiza fidelidad en la imagen digital con respecto a material físico digitalizado, pues estos parámetros representan características físicas medibles de forma numérica y objetiva, pero no necesariamente calidad subjetiva a nivel perceptual. Esta es, desde nuestro punto de vista, una de sus mayores limitaciones.
- c) **Variables técnicas (*Technology Variables*)**. Comprenden los ajustes de la captura y almacenamiento digital. Estas variables resultan muy familiares a cualquier usuario de equipos o software de edición de imágenes digitales. Las más relevantes en una imagen digital de tipo raster son: resolución espacial de muestreo, profundidad de bit, método de compresión, espacio de color o de grises y formato de fichero.
- d) **Preferencias de Calidad de Usuario (*Customer Quality Preferences*)**. Son la percepción subjetiva global de calidad de la imagen por parte de un usuario, que suele ser reflejada mediante juicios de valor del tipo “bueno, malo, regular” o mediante escalas numéricas subjetivas.
- e) **Modelos de calidad de la imagen (*Image Quality Models*)**. Son modelos estadísticos que relacionan percepciones subjetivas de usuario (contraste, oscuridad, nitidez...) con Preferencias de Calidad de Usuario. Un ejemplo de relación sería “un alto grado de nitidez, contraste y colores saturados implica mucha calidad general de una imagen y viceversa”.

- f) Algoritmos visuales (*Visual Algorithms*). Son algoritmos que permiten computar el valor de calidad de la percepción de un atributo concreto de la imagen por parte de un usuario a partir de uno o varios parámetros físicos de imagen. Por ejemplo, un algoritmo podría computar la percepción de calidad tonal de la imagen a partir del parámetro físico OECF (*Opto-Electronic Conversion Function*). Este tipo de algoritmos requieren rangos o escalas de valores predeterminados de los parámetros físicos para poder modelar convenientemente el cumplimiento o no de calidad en la percepción del atributo visual con el que se relacionan.
- g) Modelos de sistemas (*System Models*). Son modelos analíticos que predicen los parámetros físicos de la imagen desde las variables técnicas.

De acuerdo a esta aproximación, un modelo de calidad de imagen es una teoría formal de percepción visual que posibilita una predicción de calidad de imagen desde los atributos perceptuales que comprende la calidad de imagen. Podemos identificarlo con un *modelo perceptual*. Nuestra concepción de modelo, así como la de buena parte de las aproximaciones a este tema desde la vertiente patrimonial, difiere de esta aproximación descrita por Engeldrum en que nuestro objetivo no es correlacionar la calidad con preferencias estéticas de usuario, sino con un alto grado de fidelidad en la representación de las características físicas visuales de los materiales a digitalizar. Es por esto que nuestra aproximación toma como base para la computación las variables técnicas y los parámetros físicos. Partimos de una taxonomía de parámetros físicos (que han sido correlacionados previamente con valores en variables técnicas y parámetros de tipo mecánico) e inferimos automáticamente un nivel de calidad midiendo su rendimiento. Los modelos que usan en lugar de atributos perceptuales parámetros físicos de la imagen para predecir calidad de la imagen se categorizan como *modelos de estímulo*. Nuestro modelo puede ser adscrito a esta clase. Recordamos que en patrimonio documental y artístico tenemos un límite y una referencia: el original; y un objetivo: el acercamiento y fidelidad a aquel. Esta premisa nos conduce a optar por este tipo de modelos.

El modelo de estímulo que hemos tomado como referencia presenta los siguientes elementos:

- a) Variables técnicas. Sus valores son elegidos de acuerdo a las características físicas del original a capturar que se desea o necesita que queden bien representadas en los objetos digitales que les corresponden. Indicamos en el siguiente listado las variables técnicas que hemos incorporado en nuestro modelo, en su base normativa,

para los diferentes tipos de medios, según corresponda a cada versión digital³:

- Imagen digital raster.
 - Estado de imagen.
 - Método de codificación del color. Incluye todas las variables relacionadas con la forma en que se codifica el color o tono: escala de color, sistema de color, espacio de color o grises, linealidad, perfil de color, número de canales de color.
 - Profundidad de bit.
 - Resolución espacial de captura (muestreo espacial de captura).
 - Formato de fichero.
 - Método de compresión.

- Vídeo digital.
 - Formato contenedor.
 - Codec.
 - Submuestreo de color.
 - Profundidad de bit.
 - Resolución espacial del cuadro de la imagen.
 - Disposición de las líneas de imagen (entrelazado/progresivo).
 - Número de fotogramas por segundo.
 - Bitrate.
 - Tipo de bitrate (constante-CBR-/variable-VBR-).

- Sonido digital incluido en vídeo digital o en documento sonoro.
 - Formato contenedor.
 - Codec.
 - Profundidad de bit.
 - Frecuencia de muestreo.
 - Bitrate.
 - Número de canales

b) Parámetros físicos. Su aplicación sirve para demostrar que

³ Recalamos que esta nómina de variables es selectiva, no agotando todos los aspectos de configuración técnica de los medios digitales abarcados en nuestro trabajo y que deben ser considerados en la preparación de las capturas digitales.

- esas variables rinden al nivel requerido como para que se garantice la representatividad y corrección del registro digital,
- los sistemas de captura e imágenes resultantes dan buen rendimiento en una serie de parámetros que garantizan la calidad de registro a nivel tonal, cromático y espacial; esto es, no hay distorsión de la información digital relativa a tono, color y detalle visual,
- y no se producen otros defectos que alteren la calidad de la señal digital y que puedan mermar la información a estos tres niveles.

En nuestro modelo hemos incorporado parámetros físicos que permiten controlar el rendimiento a nivel tonal, cromático y espacial.

- c) Parámetros mecánicos. Su medición da noción de la corrección de una serie de operaciones mecánicas realizadas sobre los originales físicos en el momento previo a la captura. Sólo si estas operaciones son realizadas convenientemente habrá un rendimiento óptimo en los parámetros físicos y un registro correcto de la apariencia y contenido del objeto físico a capturar. Ejemplos de parámetros de tipo mecánico son: curvatura del elemento a capturar, su grado de inclinación, la presencia de reflejos, la presencia de elementos ajenos al objeto a capturar, la presencia de dobleces, la inversión o giro del objeto, o la ausencia o no de suciedad ajena al original.
- d) Sistema de reproducción/visualización. Este elemento no puede ser obviado en un modelo de calidad. En el caso de las digitalizaciones en formato imagen, hemos de considerar la particularidad de los objetos digitales frente a los sistemas físicos de registro: en los primeros se requiere un acto de reproducción o visualización para poder acceder a su contenido. La imagen digital no existe *per se* en el fichero digital que contiene su código digital; no tiene una apariencia fija; necesita un acto de reproducción que lea el código digital y lo traduzca a valores tonales y cromáticos en el medio de salida, un monitor o papel impreso, por ejemplo. Si no se considera y controla el proceso de reproducción/visualización de manera conveniente, no podemos hablar de calidad, por más que se hayan conseguido sus umbrales durante el registro digital del objeto físico capturado. No perdamos de vista tampoco que las decisiones técnicas aplicadas durante el trabajo de captura digital al amparo del modelo de calidad se amparan

también en tecnologías ideadas de acuerdo a las características de los sistemas de visualización y reproducción de los contenidos digitales.

- e) Pautas de preparación, configuración y procesado de las capturas. Este aspecto incluye un conjunto de pautas que guían al operador de captura y procesado de los contenidos digitales de manera que pueda conseguir un flujo de trabajo que minimice el riesgo de problemas de calidad o que aproxime los resultados a un estado predeterminado. Las pautas, evidentemente, variarán de acuerdo al tipo de medio. En un medio imagen digital raster las pautas incorporan aspectos tales como: el tipo de dispositivo de captura admitido, el tipo de fuente de luz, las características técnicas de la luz, los procedimientos de calibración y caracterización, el tipo de ópticas, los ajustes admitidos y no admitidos sobre la señal digital, los procedimientos de rotación de las imágenes admitidos, el tipo y pautas de ajuste de la mesa de reproducción, el uso de filtros ópticos o digitales admitidos, la configuración de la toma, el procedimiento a seguir con originales con relieve, o los sistemas de nomenclatura y organización de los ficheros obtenidos.
- f) Filosofía de trabajo. El modelo incorpora necesariamente una filosofía, una manera de concebir la finalidad de la captura digital, que engloba dos elementos: principios éticos y deontológicos que rigen la concepción de la captura digital en sus objetivos y utilidad social y académica, y requisitos cuyo cumplimiento garantiza el seguimiento de esos principios. Tal y como podemos apreciar en la figura 1, ubicamos este componente en la cúspide del sistema, pues será el que determine la configuración y el rendimiento del resto de aspectos de calidad. Ante la necesidad de darle mayor desarrollo, dedicamos el siguiente epígrafe a profundizar en él.

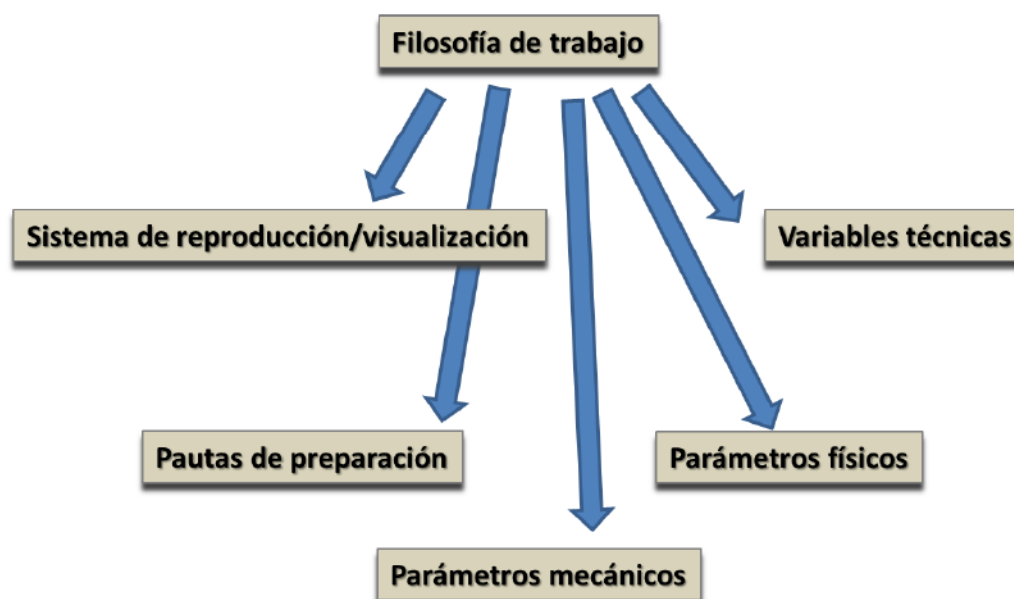


Figura 1. Modelo de sistema de calidad que ha sido tomado como referencia en este trabajo

En aras a una mayor practicidad, no hemos organizado el contenido del modelo de calidad desarrollado para el Archivo Espacio P que presentamos en los siguientes capítulos según la estructura de elementos del modelo que acabamos de presentar. Al contrario, presentamos ese contenido organizado de manera próxima al orden secuencial de las tareas de preparación de las capturas o de acuerdo al tipo de medio a que obedecen las obras de este archivo. No obstante, a modo de orientación reflejamos a continuación qué elementos del modelo son tratados en los capítulos siguientes:

- Variables técnicas: capítulos 3 y 4.
- Parámetros físicos: capítulo 2.
- Parámetros mecánicos: capítulo 2.
- Sistema de reproducción/visualización: capítulo 2.
- Pautas de preparación, configuración y procesado de las capturas: capítulos 2,3 y 4.
- Filosofía de trabajo: capítulo 1.

Es crítico no confundir la calidad de los objetos digitales con alguno de los elementos del modelo contemplados de forma aislada. Es frecuente, por ejemplo en muchas directrices de digitalización, confundir los valores de las variables técnicas con la calidad de la imagen. Todos los componentes identificados en el esquema anterior actúan de forma interrelacionada. No es de ninguna utilidad aportar valores de variables técnicas en unas directrices de digitalización sin correlacionarlos con valores interdependientes en

parámetros físicos. En el siguiente ejemplo, podemos apreciar esta correlación.

En la figura 2 mostramos el resultado de una prueba de capacidad resolutive a dos dispositivos de captura de imágenes. Esta prueba ha sido realizada para un valor de frecuencia espacial de muestreo (o lo que es lo mismo, de resolución espacial de captura) de 300 píxeles por pulgada. A este valor de resolución, el parámetro físico capacidad resolutive con la métrica MTF 50% (*Modulation Transfer Function*) debería caer en la frecuencia 100 Cy/in (100 pares de línea/ciclos por pulgada).

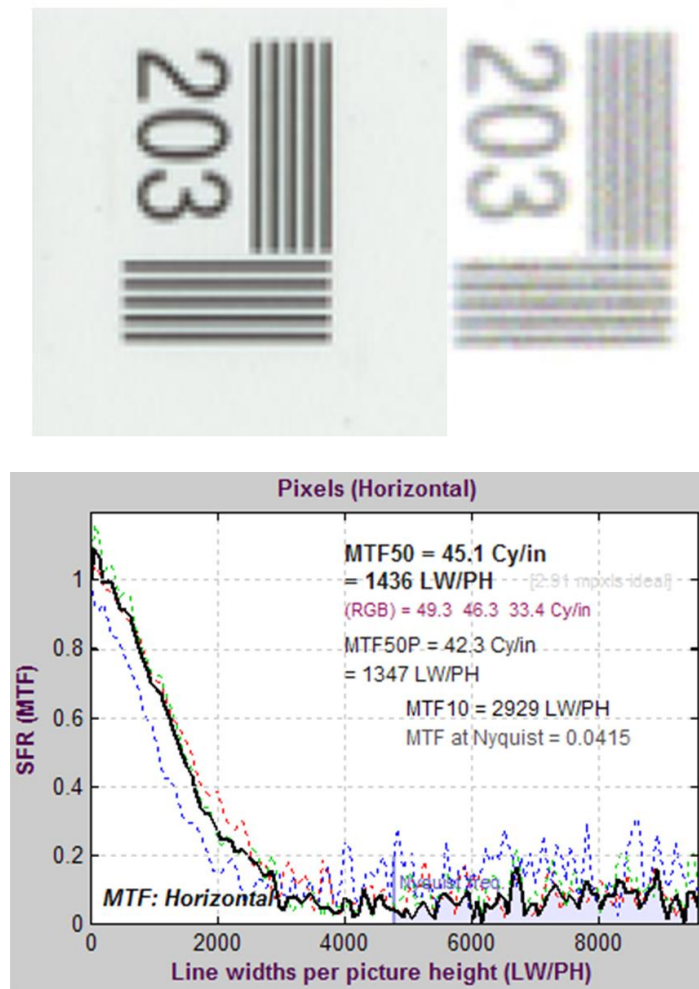


Figura 2. Rendimiento comparado de capacidad resolutive a dos dispositivos de captura digital de imágenes a un mismo valor de resolución espacial de captura. El grafico inferior ha sido obtenido con el programa Imatest®⁴

⁴ Aplicación comercial para el control de calidad de imágenes de desarrollada en sus inicios por Norman Koren (<http://www.Imatest.com>).

La capacidad resolutive del primer dispositivo aporta este valor en el parámetro físico capacidad resolutive con la métrica MTF 50%, pero la del segundo queda muy por debajo, en 45 Cy/in. En esta misma figura mostramos la reproducción de un patrón de líneas equivalente a 100 Cy/in que viene a ser más o menos equivalente a 200 líneas alternas de color blanco y negro por pulgada; a la izquierda la del primer dispositivo y a la derecha la del segundo. Abajo mostramos un gráfico con datos de la ejecución de una prueba de MTF 50% al segundo dispositivo. Podemos apreciar cómo la reproducción en el primer caso es correcta y la del segundo incorrecta. El problema del segundo dispositivo reside en que pese a tener un valor adecuado, en la variable técnica frecuencia espacial de muestreo, para poder registrar correctamente un patrón de líneas de 100 Cy/in, su rendimiento en MTF 50% es tan bajo que no deriva en un registro correcto del detalle espacial que debería quedar bien cubierto con ese valor de frecuencia de muestreo. La correlación entre la variable técnica frecuencia espacial de muestreo y el parámetro físico capacidad resolutive queda bien patente en este ejemplo: una resolución espacial de muestreo alta no tiene sentido con una respuesta MTF limitada. Consecuentemente, la resolución de muestreo debe aportarse con un rango de aceptabilidad en valores MTF determinado en el modelo de calidad, si no se hace así, es completamente inútil.

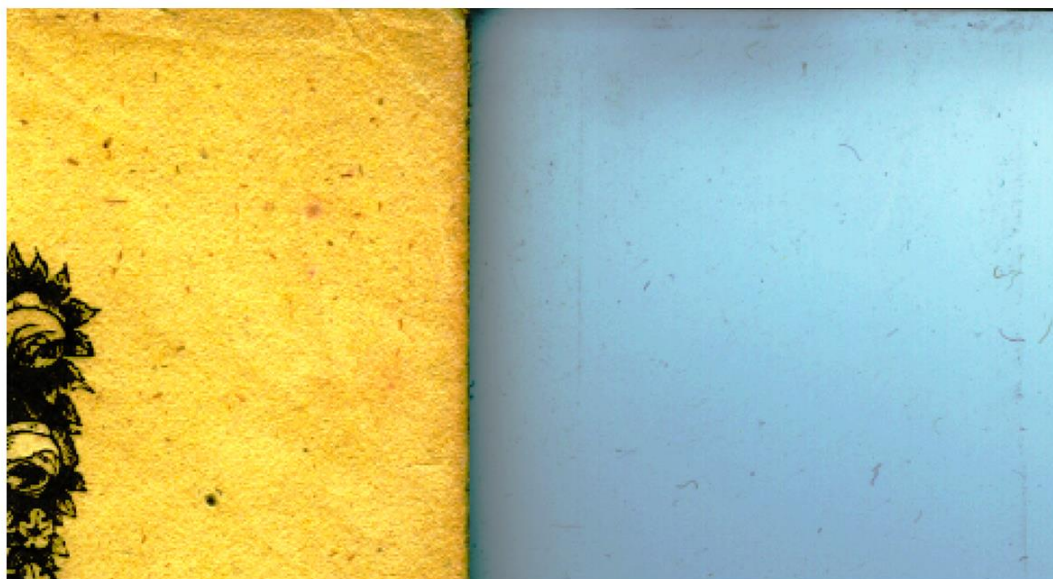


Figura 3. Correlación entre un parámetro mecánico, una variable tecnológica y un parámetro físico

En la figura 3 presentamos otro ejemplo. En este caso, de correlación entre un parámetro mecánico, una variable tecnológica y un parámetro físico. Es el detalle de la imagen de una captura digital de documento con una resolución espacial idónea para el registro de su detalle gráfico más fino y con un rendimiento muy alto en el parámetro físico de capacidad resolutive para ese valor de resolución espacial. Como resultado, vemos un buen detalle espacial, pero la alta suciedad en el vidrio de originales del escáner (que ha pasado a la

digitalización) hace perder fidelidad en este parámetro, al confundirse aquella con el detalle visual del documento digitalizado.

En el contexto de la digitalización patrimonial, la aplicación de modelos de estímulo ha derivado en varias propuestas de taxonomías de parámetros de control de calidad para diversos tipos de documentos. Estas taxonomías muestran un listado de parámetros físicos con sus métricas y herramientas asociadas. Además, se presentan tablas de rangos de valores admitidos para poder estimar el rendimiento en esos parámetros tras la aplicación de las métricas. Estas tablas permiten al equipo de control de calidad tomar la decisión sobre la aceptación o rechazo del dispositivo de captura, el procesado aplicado durante la captura o la propia imagen digital resultante. Los rendimientos se expresan de manera relativa, y según corresponda, a los valores de un conjunto de variables técnicas de captura, que, al menos, incluye la frecuencia espacial de muestreo, la profundidad de bit y el espacio de color o grises.

Estas especificaciones se encuadran dentro de una línea de trabajo en la digitalización del patrimonio documental que empieza a ver sus frutos en los últimos años a través de varias iniciativas que pretender asentar un estándar de calidad certificable. Para la realización de nuestro trabajo, hemos tomado como referencia tres de las iniciativas más reseñables, que serán continuamente citadas a lo largo de las siguientes páginas, en concreto: *Metamorfoze Preservation Imaging Guidelines. Image Quality, version 1.0* (Dormolen, 2012), *Digitisation of photographic materials. Guidelines* (Nationaal Archief, 2010) y *Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials: Creation of Raster Image Master Files* (FADGI, 2010, 2016). Durante el año 2016 se ha iniciado un intento de estandarización de los criterios de calidad en las digitalizaciones de patrimonio documental por parte de la ISO, a través del JWG 26 (Joint Working Group 26) del comité ISO/TC 42⁵. La finalidad de este estándar es la unificación de métricas, metodologías y herramientas utilizadas para especificar y medir la calidad de un sistema de imagen para digitalizar correctamente documentos del patrimonio cultural. Se espera que a principios del año 2017 vea la luz el estándar dividido en dos partes, que, a fecha de hoy, son denominadas como:

- ISO 19263 Photography - Archiving systems. Best practices for digital image capture of cultural heritage material. Incluye un marco general de conceptos y procedimientos para la aplicación del estándar 19264.
- 19264 – Photography - Archiving Systems - Image Quality Analysis - Part 1. WG: Imaging system capability qualification for archival recording and approval. Esta primera parte está dedicada exclusivamente a materiales sobre soporte opaco, previéndose la

⁵ Joint ISO/TC 42-TC 46/SC 11-TC 171 WG: Imaging system capability qualification for archival recording and approval.

publicación futura de una segunda parte dedicada a materiales sobre soporte traslúcido, como negativos fotográficos o diapositivas.

En la fecha de redacción de este trabajo todavía no hay disponibles borradores públicos de este estándar, aunque sí hemos podido revisar algunos de los documentos de trabajo que se manejan a nivel interno en el JWG 26, comprobando que la base para su realización serán dos de las especificaciones ya referidas: *Metamorphoze Preservation Imaging Guidelines* y las *Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials* de FADGI. Nuestra propuesta ha partido de estas iniciativas, pero ha tratado de ir más allá definiendo un modelo suficientemente completo que aprovecha el trabajo empírico que ha supuesto abordar la definición de los requerimientos de digitalización del conjunto de materiales del Archivo de Espacio P.

El tipo de aproximación taxonómica referido se centra en la identificación de atributos exclusivamente físicos y en la propuesta de métricas de medida y rangos de valores de aceptación que se correlacionan con *ratings* de calidad a cumplir para poder obtener distintos niveles de certificación; pero no llega a profundizar en un modelo perceptual de calidad global de la imagen que guíe a la hora de establecer los rangos de aceptación requeridos en el rendimiento de estos atributos ni en sus complejas interrelaciones durante el acto de percepción humana. Su problemática reside, consiguientemente, en la falta de vinculación de las medidas físicas de calidad con las percepciones de calidad de usuarios humanos expertos, así como en la ausencia, en sus modelos de calidad, tanto de la intrincada red de correlaciones que se producen entre los parámetros de medida como de ponderaciones de éstos de acuerdo en su incidencia en la percepción de calidad (Robledano *et al.*, 2016). En otros trabajos anteriores, también vemos criticado el que estos modelos suelen asumir de forma errónea la linealidad⁶ de la percepción humana de la incidencia de un problema de calidad (Engeldrum, 1999; Robledano, 2014). Como consecuencia de estas limitaciones, podemos tener con frecuencia el caso de imágenes digitales con niveles de calidad muy dispares a nivel perceptual que al ser valoradas con un modelo determinado de tipo taxonómico son asignadas al mismo nivel de calidad; o, a la inversa, imágenes que con un mismo nivel de calidad reciben valoraciones muy diferentes. Esta situación provoca la posibilidad de rechazo de imágenes con

⁶ Una escala lineal de calidad asumiría una relación monotónica entre la calidad de la imagen en ese parámetro y el valor de ese parámetro. Es decir, si aumentamos una unidad el valor, la calidad aumenta en esa proporción, si aumentamos el doble, la calidad aumenta al doble. La linealidad podría ser cierta para algunos parámetros físicos de calidad, pero no para todos: hay parámetros que guardan una relación no lineal con la percepción de calidad; y hay parámetros que están fuertemente correlacionados entre sí o incluso con características gráficas locales o globales que no están siendo medidas en la imagen. Por ejemplo, la percepción del defecto de ruido y contraste. Un aumento artificial del contraste en el caso de existencia de ruido, magnifica la percepción del ruido en determinados rangos tonales de la imagen.

calidad aceptable a nivel perceptual y viceversa. Estaríamos ante la situación de un modelo inconsistente a nivel perceptual.

Otra restricción importante (que hemos tenido que superar ineludiblemente para poder aplicar las especificaciones de modelos de calidad de tipo taxonómico ya publicadas a los trabajos con el Archivo Espacio P) es la falta de indicación de los estados de imagen admitidos y de otros parámetros de control o listados de errores a detectar que pueden llegar a esenciales para garantizar un buen rendimiento en calidad. Pese a los inconvenientes que acabamos de referir, podemos afirmar que utilizar modelos taxonómicos es una alternativa mucho mejor para garantizar controles eficientes que la de no usar ningún medio objetivo de control de calidad.; y que no podemos dilatar la aplicación de controles de calidad objetivos a la espera de alternativas más completas que aún tardarán tiempo en ser desarrolladas y estandarizadas.

Hemos de concluir este apartado con una reflexión quizás algo pesimista. Pensamos que estamos aún muy lejos de la generalización del uso de modelos de calidad sistemáticos en el ámbito patrimonial. Su comprensión es difícil para los no expertos en tecnologías de la imagen; y no terminan de ser muy bien comprendidos sus beneficios en los trabajos patrimoniales. En las circunstancias actuales de la comunidad del patrimonio cultural y artístico, el uso parámetros y métricas rigurosos de control puede conducir a la paralización de un proyecto de digitalización, debido a la búsqueda infructuosa de un dispositivo o procedimiento de trabajo ideal que no existe o que requeriría unos precios inasequibles para los no muy elevados presupuestos que suelen ser habituales. Pero si no tenemos a nuestro alcance la posibilidad de elegir los dispositivos ideales que necesitamos para conseguir un buen rendimiento en calidad (y su fabricación *ad hoc* es inasumible), al menos la aplicación de las técnicas descritas en los modelos taxonómicos nos ayudará a caracterizar los dispositivos que vamos a emplear de una manera sistemática y objetiva. Esta caracterización nos ayudará a conocerlos y a registrar sus limitaciones, para que podamos documentar en cualquier momento el grado de representatividad de los objetos digitales que obtenemos y servimos.

1.2 El valor de los principios y criterios en un modelo de calidad

Los principios y criterios forman parte de lo que podríamos denominar como una filosofía de trabajo. Como hemos expresado anteriormente, necesitamos modelos de calidad que incorporen principios y criterios, puesto que la configuración de todas las variables y aspectos técnicos de las capturas y de los objetos digitales resultantes tiene que ser guiada por unos principios y criterios sobre cómo se concibe la utilidad de las digitalizaciones en el ámbito del proyecto en cuestión. Esta idea ubica los aspectos de tipo filosófico en la misma base que sustenta el modelo de calidad; pero no es sencillo asentar y cumplir la filosofía de un proyecto de digitalización patrimonial. En seguida

nos daremos cuenta de las dificultades de ponerla en práctica. Éstas derivan de las múltiples concepciones sobre el nivel de calidad aceptable que emanan de la comunidad de usuarios y del personal que trabaja en el proyecto, así como de las limitaciones que imponen las restricciones presupuestarias del proyecto y de la disponibilidad de equipamiento o capacidades técnicas de las empresas que ofrecen servicios de captura digital a bajo coste.

A la hora de aplicar el modelo de calidad, veremos surgir presiones que empujan hacia obviar lo asentado en éste y dar por válido el nivel de calidad que es posible conseguir con la gama de equipamientos, personal o empresas de servicios disponibles de acuerdo al presupuesto del proyecto. No siempre es fácil equilibrar la balanza. Un exceso de exigencia hacia la calidad de los resultados y el control absoluto de los riesgos físicos a que podemos someter los materiales originales suele provocar que el proyecto deje de ser factible y se paralice: o no se encuentran empresas de servicios que puedan ofrecer, al coste que se puede asumir, la calidad estimada o es inasumible el coste de adquisición de los componentes tecnológicos que se necesitan y de contratación de personal especializado que puede trabajar con ellos con eficiencia y eficacia.

Ante la tesitura de no tener más opción que hacer frente a los trabajos con un presupuesto limitado, los siguientes interrogantes asaltarán las conciencias de los responsables de la toma de decisiones: ¿Qué demanda la sociedad, apariencia aproximada, velocidad de descarga y reconocimiento icónico del contenido? ¿Qué demanda el patrimonio, lo mismo que la sociedad? ¿Realmente es necesario complicar tanto las cosas como supone aplicar el modelo de calidad? ¿Es mejor no digitalizar por no poder alcanzarse unos umbrales determinados de calidad, o al contrario es mejor hacerlo aunque sea para poder conseguir y difundir algo aceptable para el usuario no especialista? Muchas veces tenemos que tomar una decisión drástica: o digitalizar pocos documentos de forma muy exhaustiva, con una norma de calidad muy alta (que deriva en más tiempo y dinero necesitado) o digitalizar muchos más documentos pero con una menor norma de calidad, aunque suficiente para poder divulgar los fondos en la Web satisfaciendo a un usuario no experto.

Pero no siempre el problema reside en un límite presupuestario. Es frecuente ver emprender proyectos de digitalización en una situación que podríamos calificar como vaga a nivel conceptual y técnico, por la indefinición de ideas de base sobre cómo concebir los resultados digitales o por una formación tecnológica no muy profunda. En este caso, el proyecto se afronta sin tener suficientemente claro ni lo que se desea obtener ni la justificación del nivel de calidad que se está alcanzando. Esto implica, frecuentemente, que los proyectos se inicien sin un proceso previo de evaluación de capacidad de la tecnología que se va a aplicar para obtener buenos resultados; o con un desconocimiento amplio de esa tecnología y sus posibilidades o de sus riesgos de deterioro de los originales.

Hemos de pensar que la digitalización puede acarrear un riesgo grande para los documentos y obras de arte, especialmente para aquellos más frágiles. Un criterio de calidad no muy riguroso en los objetos digitales que se sirven a

través de un sistema online puede derivar en un aumento de la consulta manual de los originales y tener que volver a digitalizar en poco tiempo, lo que multiplica el riesgo para su integridad física. Pensamos que al menos deberíamos garantizar versiones máster ajustadas a unos principios y criterios exigentes en grado de fidelidad al original y ausencia de defectos. En nuestra opinión, como custodios de patrimonio nuestra misión es ser fieles a lo que custodiamos. Somos libres de interpretar los materiales patrimoniales, pero siempre y cuando explicitemos la filosofía y criterios que subyacen en esa interpretación y la información visual que hemos filtrado en los objetos digitales que los representan.

Si determinamos que queremos, al menos en los másteres digitales de las piezas más valiosas, apariencia fiel a los originales, ya hemos avanzado un gran paso; sabemos que, por ejemplo, una diferencia colorimétrica grande de los colores de la imagen digital con respecto a los del original es un defecto de calidad. Si nuestra idea para los másteres fuera, al contrario, no fidelidad sino apariencia agradable, nunca tendríamos que buscar una coincidencia colorimétrica, más bien, incluso, lo opuesto: subir los niveles de saturación y contraste para lograr una apariencia agradable a costa de dinamitar la similitud colorimétrica y, en consecuencia, la fidelidad. Si no quisiéramos esos másteres fieles sino visualmente agradables, conseguir la fidelidad suele derivar en la percepción de mala calidad para un usuario no experto, que verá las imágenes menos contrastadas y con colores más apagados. La paradoja que se produce en estas situaciones es evidente: los defectos de captura se transforman en virtudes. Hemos de ser conscientes de que el concepto de calidad no es único ni absoluto, sino que depende del criterio que se aplique. Y que no tiene ningún sentido empezar a hacer pruebas de calidad a los objetos digitales o a los equipos de digitalización si no se tiene completamente claro el criterio de calidad que se está aplicando.

De aquí en adelante vamos a exponer lo que pensamos que deberían ser los principios y criterios en el marco de un proyecto de digitalización de patrimonio histórico, cultural y artístico.

Un primer principio es que los criterios patrimoniales deben basarse en códigos éticos del patrimonio cultural y artístico. El campo donde de forma más clara y explícita se han asentado este tipo de códigos es en el de la restauración de obras de arte. Hay dos premisas que se derivan de códigos éticos de restauradores de obra de arte que deberíamos seguir: reversibilidad de las intervenciones y dar la posibilidad de diferenciar aquello que es resultado del trabajo de restauración de lo existente previamente en el original. De estas premisas hemos de derivar la necesidad de respetar al máximo la apariencia del original en las imágenes másteres y en sus derivadas, y que cualquier edición digital que pretenda restaurar la apariencia original sea realizada científicamente y advirtiendo de que se trata de una recreación. ECCO, la Confederación Europea de Organizaciones de Conservadores-Restauradores, en su definición de términos para definir la conservación del patrimonio cultural tangible declara: “La conservación comprende la conservación preventiva, la conservación curativa y la restauración. Todas estas medidas y acciones deberán respetar el significado

y las propiedades físicas del bien cultural en cuestión.”⁷ Es obvio que de esa definición se trasluce la necesidad de respetar la apariencia del original.

Otro principio es el de la versatilidad de las digitalizaciones. Hemos de pensar que no digitalizamos para un uso concreto actual, sino que debemos procurar validez para múltiples usos, no todos previsibles en el momento de la captura. Deberíamos derivar dos criterios de este principio: las variables técnicas de la captura no deben ser fijadas para los límites actuales de los dispositivos de reproducción o visualización, sino en la información física que tienen los originales; y no se debe adaptar la apariencia de las imágenes a las posibilidades de dispositivos de reproducción o visualización determinados.

El tercer principio es el de durabilidad y representatividad. Algunos de los materiales que nos encontramos en los archivos patrimoniales, como son las fotografías químicas y los audiovisuales, son muy sensibles, sufriendo procesos de deterioro difícilmente evitables e irreversibles con el paso de los años. En unos años, las imágenes digitales, si fueron correctamente capturadas, permitirán acceder a atributos plásticos de los originales que se han perdido o desvirtuado. Por ello, una buena práctica es procurar registros digitales muy representativos a nivel físico de estos atributos y arbitrar medidas de preservación digital.

Una vez descritos los principios, nos detendremos en los criterios a cumplir por los objetos digitales para su satisfacción. Franziska Frey y James Reilly fueron pioneros cuando asentaron una serie de criterios que deberían cumplir las digitalizaciones en formato imagen raster de originales fotográficos con valor patrimonial (Frey y Reilly, 2006). Estos autores se centraron en materiales fotográficos, pero sus ideas son perfectamente aplicables a cualquier tipo de medio con las adaptaciones oportunas a las características intrínsecas de la información que portan. Es interesante detenernos en las cuatro aproximaciones de fidelidad que se describen en el trabajo que acabamos de citar:

- a) Presentar la apariencia del original tal y como se encuentra.
- b) Presentar el intento del fotógrafo, corrigiendo incluso problemas de exposición o de procesado durante la digitalización.
- c) Presentar la apariencia que tuvo el original, usando restauración digital.
- d) Presentar la apariencia de la escena original, cuando se capturan fotografías que representan obras de arte o documentos.

⁷ Terminología para definir la conservación del patrimonio cultural tangible (traducción de la versión original en inglés 25/03/2008 – rev. 23). Resolución que se presentará a los miembros del ICOM-CC durante la XV a Conferencia Triannual, Nueva Delhi, 22-26 de septiembre de 2008.

Desde nuestra perspectiva, sólo la primera aproximación debería ser asumible en el contexto patrimonial.

Cuando hablamos de medios gráficos, el concepto de fidelidad precisa de la delimitación de la apariencia que vamos a codificar en las imágenes, pues ésta varía según las condiciones del entorno de percepción. Tratamos este aspecto con mucho detenimiento, dada su importancia, más abajo en el epígrafe titulado *Estados de imagen y métodos de codificación para las imágenes másteres*, por lo que no nos detenemos mucho aquí, salvo introducir la idea de que el concepto de fidelidad, en lo que respecta a los documentos digitalizados en formato imagen raster, será entendido en el modelo de calidad que proponemos como una representación de la apariencia de la vista del objeto a capturar en unas condiciones concretas de percepción, que serán las definidas para el medio de referencia y para el entorno de observación de referencia del espacio de color de conexión de perfil (PCS – *Profile Connection Space*) sobre el que se basa el perfil ICC incrustado en las imágenes⁸. Pero, evidentemente, asumiendo que esa fidelidad estará constreñida, durante el proceso de reproducción o visualización de las imágenes, a la necesaria adaptación que deben sufrir las mismas debido a las limitaciones de representación a nivel tonal, cromático y resolutivo de los dispositivos de visualización e impresión que se utilicen.

Con la aplicación correcta de los elementos tecnológicos de obligado cumplimiento que irán siendo referidos en las siguientes páginas, se garantiza que las imágenes másteres y derivadas puedan ser visualizadas o reproducidas con un alto grado de fidelidad mediante la intermediación de la tecnología de gestión de color preinstalada en los sistemas operativos y aplicaciones de edición de imágenes de uso profesional habituales. Para ello se requerirá el uso de dispositivos de calidad correctamente configurados, calibrados y caracterizados cromática y tonalmente, así como unas condiciones de entorno de observación adecuadas⁹.

Un criterio de especial importancia descansa en el principio que asienta que tanto el contenido como el soporte son relevantes cuando capturamos algunos tipos de objetos físicos patrimoniales. Pensamos que hemos de capturar un objeto patrimonial que porta una imagen fotográfica o información en cualquier otro medio de expresión (grabado, pintura, escultura, texto...), no solo un contenido gráfico o textual. Por este motivo, no debemos recortar el soporte ni hacer una mera transferencia de contenidos al

⁸ En el epígrafe *Estados de imagen y métodos de codificación para las imágenes másteres*, más abajo, explicamos con detalle los conceptos técnicos PCS, perfil de color ICC, medio de referencia, entorno de observación de referencia y representación de la apariencia. El concepto de PCS aparece desarrollado por la propia ICC en sus estándares de perfiles de color, tal como el *Specification ICC.1:2004-10 (Profile version 4.2.0.0). Image technology colour management — Architecture, profile format, and data structure*. 2006. Disponible en http://www.color.org/ICC1v42_2006-05.pdf.

⁹ Las condiciones de observación más óptimas para conseguir el objetivo de visualizaciones fieles son las definidas en los estándares ISO 3664:2009 (2009a). *Graphic technology and photography - Viewing conditions* o ISO 12646:2015. *Graphic technology -- Displays for colour proofing – Characteristics*.

medio digital. Es frecuente, tratándose de la digitalización de fotografías, que se altere la polaridad original en la imagen digital resultante. Pero, si queremos ser fieles en la representación del soporte, no debemos cambiar la polaridad en la imagen máster de negativos fotográficos. En la figura 4 ejemplificamos la concepción errónea de tratar la digitalización del medio fotográfico como una mera transferencia de contenidos icónicos, obviando la naturaleza y esencia de los soportes originales.

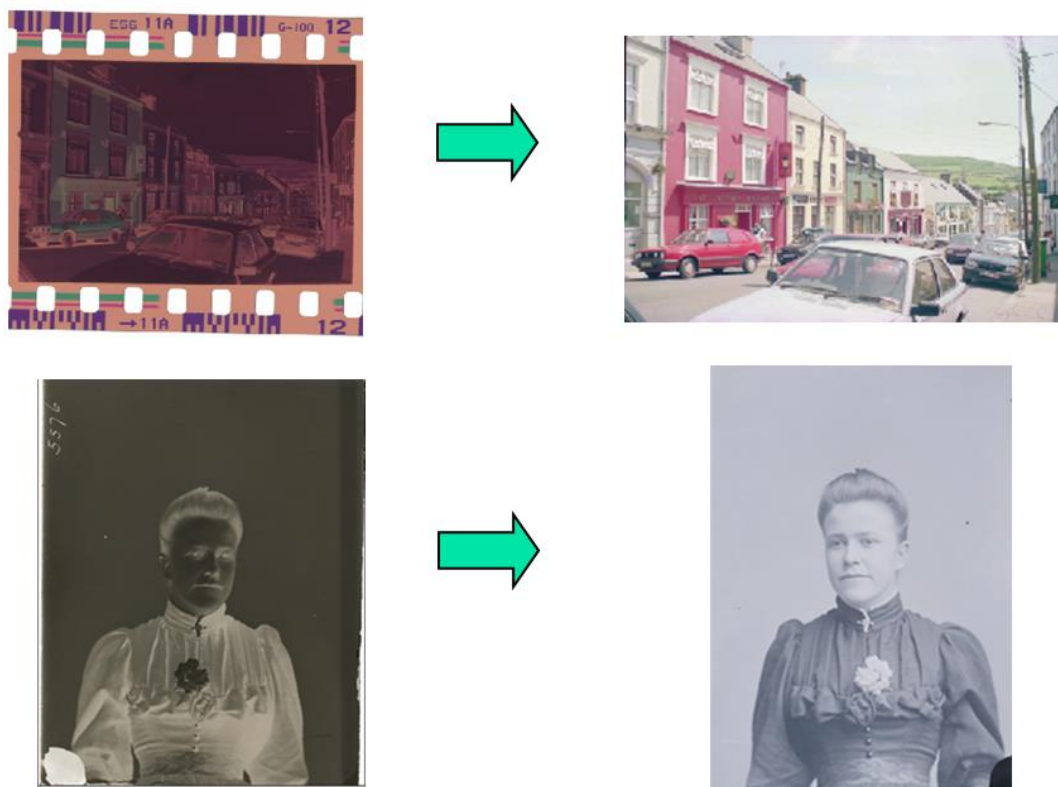


Figura 4. Ejemplificación del cambio de polaridad de original (izquierda) en las versiones digitales (derecha)

En estas situaciones podemos hacer derivados digitales que muestren lo que sería un positivado, pero siempre aplicando criterios rigurosos para ese positivado sea lo más próximo a uno de época.

Otro criterio es no realzar digitalmente las imágenes, ya que en el proceso de realzado se reinterpretan las características plásticas de las obras originales. Las imágenes realzadas podrán resultar más agradables a la vista, pero esa reinterpretación equivale a una alteración de la expresión plástica de la obra que aleja la versión digital del principio de no alteración del significado original ya comentado más arriba. En la figura 5, ejemplificamos lo que sería un realzado cuando se captura una fotografía química.



Figura 5. Ejemplo de realzado de contraste y saturación (imagen de la derecha) con la finalidad de hacer más impactante la imagen original (imagen de la izquierda)

Otro criterio es evitar la presencia de defectos que alteran la necesaria correspondencia entre la apariencia del original y la versión digital. La nómina de defectos para cada tipo de medio es alta; por ejemplo, para el vídeo digital, la *Bay Area Video Coalition* ha publicado un atlas que consta de once artefactos¹⁰.

El último criterio que hemos considerado es el de representatividad del código digital. La aplicación de este criterio implica que debe ser posible averiguar objetivamente el grado de aproximación de las representaciones digitales con respecto a las vistas captadas de sus originales correspondientes. Para ello se requiere la captura de cartas de control obtenidas exactamente con los mismos ajustes y procesados que las imágenes másteres, al menos cartas tonales, cromáticas y resolutivas. A través de las cartas se puede evaluar empíricamente el grado de representatividad de los objetos digitales hacia sus originales y también aproximar la apariencia del original ante unas condiciones de percepción determinadas en monitores o impresoras. Las cartas son también necesarias para ejecutar las métricas que permiten medir el rendimiento de los parámetros físicos de imagen. En los capítulos 3 y 4 nos detenemos en esta cuestión describiendo una propuesta completa de cartas de control, por lo que no aportamos aquí más contenido.

¹⁰ Bay Area Video Coalition. *A/V Artifact Atlas*. Disponible en: http://avaa.bavc.org/artifactatlas/index.php/A/V_Artifact_Atlas.

Segunda Parte

Requisitos de calidad para capturas con salida imagen raster

Capítulo 2. Requisitos generales de calidad para las capturas de tipos documentales con salida imagen digital raster

2.1 Introducción

En este capítulo abordamos los elementos tecnológicos del modelo de calidad que pueden ser usados para establecer umbrales de rendimiento objetivo en fidelidad de las capturas digitales con respecto a sus originales. Los requisitos que vamos a describir han sido elaborados para su uso en el proyecto de digitalización del Archivo de Espacio P, pero pueden ser tomados como referencia, tras las adaptaciones oportunas de acuerdo a la naturaleza de los documentos u obras artísticas a capturar, en otros proyectos similares. Estos requisitos son, en consecuencia, una referencia normativa a seguir en los controles de calidad previos y posteriores a la captura en el marco de este proyecto.

Los requisitos se vertebran a partir de tres niveles de referencia. En un primer nivel, se establecen las alternativas para la codificación de las imágenes que son aceptables dentro del modelo. Los datos de imagen deben ser codificados de acuerdo a un estado de imagen concreto. Este aspecto es tratado en el epígrafe dedicado a los estados de imagen y sus métodos de codificación. En un segundo nivel, se aporta una taxonomía de parámetros físicos y mecánicos que ha sido estructurada en nueve clases de atributos técnicos. Este contenido se aporta en el epígrafe dedicado a control de aseguramiento de calidad. El tercer nivel establece otros elementos normativos relacionados con procesados específicos previos y posteriores a las capturas. Finalizamos el capítulo con las pautas para el control de calidad de las imágenes resultantes, que descansa, asimismo, en la taxonomía anterior.

2.2 Estados de imagen y métodos de codificación para las imágenes másteres

2.2.1 Introducción a los estados de imagen y sus sistemas de codificación admitidos

Es complicado asentar unos criterios sobre los estados de imagen y métodos de codificación admitidos para las imágenes máster que sean de factible cumplimiento, ya que las formas de procesado y codificación de las imágenes digitales suelen ser dependientes de los equipos y software de captura concretos que se usen. Además, estos elementos no siempre pueden ser configurados en los productos fácilmente accesibles en el mercado, por lo que en muchas ocasiones la elección de este tipo de criterios no depende de las decisiones propias, sino de lo que puede conseguirse a través de los equipos de captura y las aplicaciones de trabajo disponibles.

Los fabricantes de equipos de captura diseñan sus dispositivos para que puedan generar salidas digitales con los criterios de calidad que han sido considerados cuidadosamente en su fase de diseño. Estos criterios están muy condicionados por factores comerciales, no sólo técnicos. Los fabricantes mantienen un fuerte control sobre los procesados que sus equipos aplican a las imágenes para poder cumplir con los criterios propios de calidad, evitando dar a los usuarios la posibilidad de configurar aspectos de procesamiento que puedan alejar a los equipos de los criterios de calidad predeterminados. No obstante esta dificultad, en los siguientes subpepígrafes damos una serie de alternativas de codificación ante diferentes casos, asentado unas pautas mínimas de cumplimiento para cada una de ellas. El seguimiento de estas pautas permitirá desechar los equipos y aplicaciones que no ofrezcan más alternativa que una forma de procesado y codificación de imagen alejados de los objetivos de calidad que se trata de conseguir para el proyecto.

En la tecnología del color digital se diferencian, habitualmente, tres estados de codificación de imágenes digitales: *input referred* (referido a entrada), *output referred* (referido a salida o renderizado) y en el espacio del sensor (también denominado como en bruto o RAW)¹¹.

El primer estado es denominado también comúnmente como *unrendered* (no renderizado o no interpretado). Algunos autores diferencian claramente dos posibles estados *input referred*: *scened referred* y *original referred*¹², que no son

¹¹ El estándar ISO 22028-1:2016, *Photography and graphic technology — Extended colour encodings for digital image storage, manipulation and interchange — Part 1: Architecture and requirements* desarrolla en extenso los conceptos relacionado con los estados de imagen *input* y *output referred*. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22028:-1:ed-2:vl:en>

¹² Esta diferencia aparece reconocida y descrita en el estándar ISO 22028-1:2016, *Photography and graphic technology — Extended colour encodings for digital image storage, manipulation and interchange — Part 1: Architecture and requirements*.

exactamente equivalentes, aunque se suelen usar como tales con frecuencia. El término *scened referred* se reserva para las capturas de vistas reales o virtuales de escenas (como son las típicas realizadas con una cámara fotográfica digital en tomas de exteriores), y *original referred* para denotar la captura de imágenes reales bidimensionales (como pueden ser obras de arte, fotografías o documentos bidimensionales en soportes físicos o electrónicos) bajo unas condiciones habituales de percepción, normalmente coincidentes con las del interior de una habitación iluminada con luz solar filtrada o con luz artificial, pero teniendo esta última características similares a la primera. Los datos de una imagen en estado *original referred* se asumen que son de imágenes bidimensionales con una iluminación completamente uniforme. La codificación *scened referred*, teóricamente, requeriría un mayor rango dinámico¹³, ante la gran razón de contraste que es característica en las tomas de vistas de exteriores con cámaras fotográficas.

Las imágenes en estado *input referred* codifican la información visual de acuerdo a la colorimetría y rango dinámico de la escena u objeto bidimensional que han sido captados fotográficamente (Giorgiani, Madden y Spaulding, 2003). En nuestro caso, sería la vista del documento u obra de arte que ha sido capturada digitalmente mediante una cámara digital o dispositivo similar. Una imagen codificada en formato HDR (*high dynamic*

¹³ De forma sucinta podemos definir rango dinámico como el intervalo que hay entre el menor y el mayor valor de intensidad de luz reflejada o emitida dentro de una imagen o escena real. Se puede expresar de múltiples formas. Cuando se trata de escenas reales se suele expresar como razón o ratio de contraste, que expresa la diferencia entre estos niveles bajo la forma de una razón matemática. Por ejemplo, 1000:1 indica una razón de contraste en la que la máxima intensidad de luz es 1000 veces mayor que la mínima. También se suele expresar como valores de exposición (diafragmas o f-stop) o como rango de densidades ópticas (expresada de forma abreviada como OD, la densidad óptica alude a la propiedad de una superficie para absorber luz incidente).

Para pasar un rango dinámico expresado como razón de contraste a densidades ópticas se calcula el logaritmo decimal de la parte mayor de la razón. En el caso de 1000:1, la expresión en rango de densidades ópticas sería el logaritmo decimal de 1000, esto es, 3. Se expresa entonces como 3 OD. Para pasar de densidades ópticas a razones de contraste se eleva 10 al valor de densidad óptica, y el resultado arroja la parte izquierda de la razón.

Para pasar de densidades ópticas a valores de exposición se multiplica el valor por 3,322. Por ejemplo 3 OD equivale aproximadamente a 10 valores de exposición (diafragmas o f-stops).

En ocasiones los datos de densidad óptica de una superficie se representan como reflectancia o transmitancia. La reflectancia o transmitancia es el porcentaje de que representa la luz reflejada o transmitida por la superficie con respecto a la luz incidente. Por ejemplo, una reflectancia del 89% significa que la superficie retiene el 11% de luz. Para pasar de valores de reflectancia o transmitancia a densidades ópticas se calcula de logaritmo decimal del resultado de dividir 100 entre la reflectancia o transmitancia. En el ejemplo anterior la densidad óptica de 89% sería $\log(100/89) = 0,05$. Para calcular la razón de contraste de la intensidad de luz reflejada por una superficie con respecto a la luz incidente se divide 100 entre la reflectancia y el valor resultante aporta el lado izquierdo de la razón. En el ejemplo anterior sería 1,12:1.

range), una imagen multiespectral, o una imagen en espacio de color RIMM o ERIMM RGB entrarían en este estado de imagen.

El segundo estado se suele denominar también como *rendered* (renderizado o interpretado), y se basa en que los datos de las imágenes representan la colorimetría y el rango dinámico de las imágenes como si se reprodujeran en un tipo o medio concreto de reproducción o visualización (tal como una impresión en papel o visualización en monitor) y además con unas condiciones de entorno de observación concretas. Las condiciones de entorno fijan aspectos tales como la intensidad y temperatura de color de la luz ambiental, los colores que rodean inmediatamente a la imagen reproducida y su reflectancia, o la incidencia de reflejos sobre aquella. Una captura convertida a un espacio de color sRGB, Prophoto RGB o Adobe RGB, o ajustada para su visualización correcta en un monitor o impresora concretos, correspondería a este estado. Este es el estado típico y común de las imágenes digitales que usamos a diario, y también de las resultantes en la mayoría de los proyectos de digitalización patrimoniales.

Las imágenes en el espacio del sensor se suelen denominar como imágenes en bruto o RAW. Estas imágenes contienen en bruto toda la información de la escena obtenida desde el sensor y conversor analógico digital de la cámara digital sin procesar, junto a los metadatos que registran los ajustes de captura seleccionados por el fotógrafo: filtro de enfoque aplicado, ajustes de contraste y saturación, temperatura de color, equilibrio de blancos, etc. (Los metadatos dependen de la cámara empleada). Los ajustes de captura no alteran los datos de la imagen, sólo los acompañan. Las imágenes RAW se codifican a una alta profundidad de bit, la máxima que se utiliza en el proceso de conversión analógico digital. En los modelos de cámara de mayor coste y calidad se llega a los 16 bits reales por canal de color. Estas imágenes, al no haber sido procesadas, no presentan la corrección de algunos defectos típicos de los sistemas ópticos de los dispositivos de captura o del sensor, tales como, ruido, aberración cromática, falta de foco o problemas de transferencia tonal. No obstante, los firmware de las cámaras digitales suelen aplicar algo de procesado a los datos obtenidos desde la circuitería de la cámara para compensar determinados problemas de calidad, denominado comúnmente como procesado de optimización. En los sistemas de sensor con color interpolado mediante matriz Bayer o similar, la imagen RAW sólo conserva un valor de color por cada píxel. Esto es, aún no están en el sistema de color típico RGB. Estas imágenes son, por tanto, dependientes de cada modelo de dispositivo de captura, no pudiendo ser correctamente interpretados los datos de color sin el conocimiento de las características técnicas del modelo de dispositivo que se registra en los metadatos técnicos que necesariamente las tienen que acompañar.

Las imágenes en el espacio de color del sensor deben ser procesadas necesariamente a partir de los datos de caracterización del dispositivo, que, como veremos más adelante, pueden consistir en datos de sensibilidad espectral del sensor y espectrales de la fuente de luz (más complejos y costosos de obtener de forma precisa), o en un perfil de color normalizado de acuerdo a las especificaciones de la ICC (más sencillo y menos costoso de obtener).

Las imágenes *input referred* tienen la ventaja de representar con mayor riqueza las características tonales (intensidades de luz) y cromáticas (colores) de los originales, pues la información no ha sido aún procesada para su ajuste a las restricciones en rango dinámico y gama de colores de un tipo de medio o dispositivo concreto; esta información adicional puede ser crítica cuando pretendemos que las digitalizaciones actuales sean aún funcionales en un futuro tecnológico aún incierto, o a la hora de poder determinar con cierto grado de aproximación las características ópticas de la imagen original a partir de sus imágenes digitales. Otra ventaja crucial es que las imágenes pueden ser posteriormente ajustadas de manera óptima de acuerdo a las características de diferentes medios de reproducción o visualización (que en el momento de la captura no son conocidos) sin que se haya perdido previamente información debido a un proceso de ajuste previo pensado en otro medio.

La desventaja principal de un estado no renderizado es que las imágenes no son visualizables ni reproducibles directamente; requieren un procesamiento para su adaptación a un espacio de color de un dispositivo de visualización o reproducción o de trabajo de edición digital, esto es, un proceso de renderización. Este proceso puede llegar a ser muy intensivo en algunos casos de aplicación. Otro inconveniente es que la conversión precisa de la imagen a un estado *input referred* debe hacerse directamente desde los datos del sensor (desde las imágenes RAW que aporta el dispositivo de captura) mediante unas transformaciones para las que se necesita una precisa caracterización del rendimiento del dispositivo de captura y de las fuentes de iluminación; y no es fácil ni de bajo coste conseguir esta caracterización y poderla aplicar a las transformaciones con los medios habituales de los proyectos de digitalización de obras de arte o documentos. En su defecto, se utilizan datos de caracterización genéricos del dispositivo y fuente de luz que no siempre arrojan resultados suficientemente precisos, pero con los que trabajan las aplicaciones de procesamiento de imágenes RAW obtenibles a bajo costo y de fácil manejo.

Las imágenes RAW son codificadas en formatos de fichero normalmente específicos de fabricantes o de modelos concretos de cámara. Para reproducirlos hace falta el software de la cámara o un editor como Adobe Photoshop® en su versión CS o CC que los convierte a un formato reconocible mediante el programa adicional Adobe Camera Raw. El problema de los ficheros RAW es que se formatean de acuerdo a formatos propietarios de las casas comerciales que fabrican las cámaras y con una rápida obsolescencia. Si se desea salvar un fichero RAW como imagen master de archivo, se recomienda hacerlo en formato DNG de Adobe. DNG es un formato público unificado de Adobe para RAWs que pretende ser estándar. Para la conversión desde el formato RAW de cámara a DNG se puede utilizar un conversor a DNG gratuito de Adobe, el Adobe DNG Converter. Con los ficheros RAW tenemos el problema de la necesidad de procesar intensivamente los datos en brutos mediante una aplicación de “revelado” RAW, y no tenemos además un sistema unificado de codificación para esos datos en bruto, salvo que sean convertidos al formato DNG. Esta circunstancia introduce cierto riesgo de cara al futuro de la preservación

digital de estos ficheros, dada la dificultad de conseguir revelar la imagen y procesarla correctamente una vez obsoleto el formato RAW en que está codificada.

Un flujo de trabajo *input referred* basado en un estándar de espacio de color en este estado de imagen puede ser considerado como una posible alternativa al manejo de imágenes RAW, al aportar un sistema de codificación común e independiente de dispositivo de captura y cuyos datos están ya procesados, con los defectos propios de dispositivo corregidos, y se representan en un sistema de color RGB. Es decir, tenemos imágenes listas para usar, pero sin la pérdida de información que puede acarrear un proceso de renderización adaptado a un medio de salida concreto¹⁴.

Hemos identificado hasta cinco sistemas diferentes de codificación que pueden ser empleados de forma alternativa o complementaria para este proyecto u otros similares futuros. Los factores a valorar a la hora de tomar una decisión sobre el sistema de codificación a emplear son: la disponibilidad de medios de captura y almacenamiento digital, el valor intrínseco de la obra a capturar, la riqueza tonal y cromática de la misma, y la disponibilidad de tecnologías para el procesado de las imágenes. Estos sistemas pueden ser obtenidos con la tecnología comercializada disponible actualmente, por lo que no representa ninguno de ellos una dificultad especial a priori para su aplicación. Los mayores impedimentos son de tipo económico, ya que el coste se incrementa al usar las tecnologías que permiten obtener las imágenes en alguno de estos estados. Los sistemas de codificación responden a los diferentes estados de imagen que acabamos de describir y son:

1. Imágenes en espacio de color RGB renderizado descrito por un perfil de color ICC.
2. Codificación RGB en estado de imagen *input referred* (no renderizado) en el espacio de color RIMM RGB.
3. Codificación RAW. En el espacio de color del sensor de imagen.
4. Codificación HDR.
5. Codificación multiespectral.

Es muy inusual encontrar dispositivos de captura cuyos sensores hayan sido diseñados para tener la misma respuesta espectral que un observador humano o una respuesta perfectamente adaptada a la sensibilidad espectral de los tintes, tintas, colorantes o pigmentos comunes en los diferentes procedimientos fotográficos o en las técnicas pictóricas habituales en fondos

¹⁴ ICC [International Color Consortium]. *Creating scene-referred images using Photoshop® CS3*. Disponible en: <http://www.color.org/scene-referred.xalter>

de artistas (acrílicos, acuarela, óleo, lápices, ceras, etc.)¹⁵ De ahí que la precisión en el registro y en la representación del color que puede obtenerse mediante los sistemas de codificación 1 a 4 nunca será todo lo alta que puede exigir un estudioso muy exigente. A través del sistema 5 sí que puede obtenerse una alta precisión en el registro del color, pero siempre que se empleen medios excesivamente costosos en recursos económicos, tiempo de trabajo y conocimientos científicos sobre el color y su procesado. Pero incluso con esta alta precisión en el registro del color, las limitaciones de gama de color de los monitores o impresoras de uso convencional impedirían poder generar representaciones que respondan a aquella.

No obstante, la tecnología de gestión del color permite aproximar en un alto grado la apariencia de estos tipos de obras originales en monitores de ordenador, bajo ciertas condiciones ambientales y de iluminación, usando los métodos y equipamientos convencionales propios de los cuatro primeros sistemas de codificación.

Ante la dificultad de salvar las limitaciones presupuestarias o de disponibilidad de equipamiento suficientemente cualificado como para hacer una captura multiespectral precisa o reproducciones de muy alta calidad, marcamos como objetivo para las digitalizaciones del proyecto de digitalización del Archivo Espacio P poder conseguir codificaciones y representaciones con una alta proximidad de apariencia perceptual a lo que vería un observador humano con salud visual ante unas condiciones de iluminación típicas de interior, con el límite insalvable que suponen las limitaciones de gama de color y contraste de los dispositivos de captura y reproducción disponibles.

Las exigencias de aseguramiento de calidad que describimos más adelante garantizan unos cumplimientos mínimos de calidad en color y rango dinámico de los dispositivos de captura, de manera que su aplicación permitirá evitar el uso de dispositivos con limitaciones que impidan llegar al objetivo marcado.

¹⁵ Esta problemática, tan habitual en la digitalización de patrimonio cultural, se manifiesta con frecuencia en la incidencia del metamerismo de dispositivo. Este fenómeno puede suponer que dos colores percibidos como diferentes por un observador humano pueden ser registrados por el dispositivo como el mismo color, con el mismo código, y viceversa, dos colores percibidos como el mismo por el observador humano ante determinada fuente de luz puede ser registrado como dos colores diferentes, con códigos distintos, por el dispositivo.

2.2.2 Algunas consideraciones sobre el uso del espacio de color RGB

El espacio de color RGB será admitido en dos de los estados de imagen identificados previamente: *input referred* y *output referred*, y en sus respectivas codificaciones, pero sólo si las imágenes van acompañadas de un perfil de color estandarizado por la ICC¹⁶ (perfil ICC) que represente el espacio de color absoluto¹⁷ en que están codificadas, que deberá ser incrustado en sus propios ficheros. En los siguientes párrafos explicamos la motivación de esta pauta.

En un espacio de color RGB los datos de imagen se representan aportando tres valores numéricos de color para cada píxel, que representan respectivamente la densidad de color rojo, verde y azul (RGB). Estamos ante un espacio de color de tipo densitométrico dependiente de dispositivo, ya que los valores RGB dependen de la configuración física del sistema de registro (filtros de color de los sensores y procesamiento de la señal óptica y eléctrica obtenida) o reproducción de la imagen (filtros RGB de monitores o dispositivos de proyección, por ejemplo). Por ello, para poder conocer el color exacto en términos perceptuales estandarizados representado por cada terna RGB de una captura digital es preciso caracterizar el dispositivo. Mediante este proceso se puede calcular cómo se correlacionan los valores RGB que produce el dispositivo como respuesta al color con los colores de un estándar colorimétrico determinado, o, lo que es lo mismo, con los colores de un espacio de color estándar de la CIE¹⁸ colorimétrico, tal como CIELAB o CIE XYZ.

Para conseguir algún grado de fidelidad en color y tono con la vista captada digitalmente, las imágenes en este sistema de codificación deben adjuntar datos de caracterización del dispositivo. De esta forma es posible estimar automáticamente la apariencia de la imagen codificada digitalmente, pudiéndose usar esta estimación para poder generar reproducciones perceptualmente similares en los dispositivos de visualización o medios de impresión.

Los datos de caracterización de los dispositivos se pueden representar en un perfil de color normalizado de acuerdo al estándar ICC. Esta tecnología se encuadra dentro del paradigma de gestión de color del ICC, que ha venido

¹⁶ ICC es la sigla de *International Color Consortium*, la organización que de la que emanan buena parte de los estándares relacionados con la gestión del color en el ámbito digital.

¹⁷ Como explicamos un poco más adelante, entendemos por espacio de color absoluto un espacio en el que cualquier código digital de color puede ser relacionado con un color concreto definido de acuerdo a un estándar colorimétrico estandarizado por la CIE (Comité Internacional de la Iluminación).

¹⁸ CIE es la sigla de *Commission Internationale de l'Eclairage* (*International Commission on Illumination*), que es la organización internacional de la que emanan muchos de los estándares relacionados con el color y la iluminación.

teniendo un amplio seguimiento en el sector de Artes Gráficas y fotografía digital y que es generalmente aceptado en el ámbito de las digitalizaciones patrimoniales, con un amplio soporte en la industria de escáneres, cámaras fotográficas digitales y aplicaciones de edición de imágenes.

Cuando la imagen RGB se acompaña de un perfil de color, hablamos de que la imagen está dentro de un espacio de color absoluto o no ambiguo, pues puede calcularse para cada terna de color RGB su color equivalente dentro de un espacio colorimétrico estándar CIE, sin que sea necesaria ninguna referencia a factores o elementos externos que ayuden a fijar el valor perceptual de la representación del color. Dada la necesidad de un perfil de color ICC para la interpretación de los datos de imágenes en términos colorimétricos que tenemos en el estado tecnológico actual, es un requisito indispensable para las imágenes másteres en este sistema de codificación el que vayan acompañadas de un perfil ICC, que será incrustado en el propio fichero de imagen. Resaltamos que bajo ninguna circunstancia se admitirá en el proyecto el uso de este espacio de color sin un perfil de color ICC incrustado.

2.2.3 Esquema de flujo de trabajo con gestión de color ICC

En este epígrafe hacemos un pequeño inciso para exponer de forma muy breve y sintética los pasos habituales dentro del proceso para la creación del perfil ICC mediante una carta de color de perfilado¹⁹; parte de los pasos son ejecutados por las aplicaciones de perfilado (pasos d) a l)), por lo que resultan completamente transparentes para un usuario no avanzado:

- a) Disponibilidad de una carta de color junto a datos colorimétricos de los parches de color de esta en el estándar colorimétrico XYZ D50 con observador estándar de 2 grados.
- b) Digitalización en bruto, sin ajustes tonales o de color, de la carta de color para obtener la imagen de la carta en RGB. Lo normal es que sea en el espacio de color del sensor ajustado de acuerdo a la optimización del software de captura, que suele al menos, incluir un ajuste de gamma.
- c) Ejecución de la aplicación para crear el perfil ICC a partir de la carta en formato digital.
- d) La aplicación de perfilado hace una estimación del sistema de cálculo de la colorimetría de los píxeles de la imagen a partir de la carta de

¹⁹ La descripción de algunos de estos pasos los hemos tomado de la especificación del perfil ICC en su versión 2 (ICC [International Color Consortium]. *Specification ICC.1:2001-04. File Format for Color Profiles [REVISION of ICC.1:1998-09], 2001*. Disponible en: http://www.color.org/ICC_Minor_Revision_for_Web.pdf), pág. 93 y sucesivas.

color. Lo realiza mediante el análisis de la imagen de la carta y sus datos colorimétricos. Sería para calcular la colorimetría original que tendrían los puntos correspondientes del documento capturado que ocupan el área de sus píxeles respectivos. Esta colorimetría sería la equivalente al propósito absoluto colorimétrico de ICC. Este cálculo se puede hacer mediante diferentes procedimientos. Para los propósitos colorimétricos, el estándar ICC obliga a que sea una matriz 2D que contiene los coeficientes de un sistema de tres ecuaciones lineales. La matriz se puede obtener mediante una regresión aplicada a los datos RGB de los colores de la carta junto a sus valores colorimétricos respectivos. Para el propósito perceptual se suele usar una tabla denominada cLUT²⁰.

- e) La aplicación de perfilado hace correcciones a la colorimetría original para evitar algunos efectos indeseados de los instrumentos de medición de los parches de color de las cartas, tal como la presencia de reflejos sobre colores oscuros.
- f) La aplicación de perfilado, si no están ya los datos en ese estado, hace un escalado de los valores XYZ corregidos para que así éstos sean relativos a la fuente de iluminación real de la carta de colores. Lo hace dividiendo todos los valores por el valor de Y de la fuente de luz (difusor perfecto), tras escalar $Y = 1$ para el difusor perfecto. Así se obtiene la colorimetría original corregida y descrita de forma relativa a la fuente de luz con la que se han medido los valores colorimétricos de la carta.
- g) Si la cromaticidad de la fuente de iluminación es diferente de la del estándar D50, la aplicación de perfilado convierte los valores XYZ relativos al iluminante desde la cromaticidad del punto blanco de la fuente de iluminación a la del punto blanco del PCS Colorimétrico. Para ello se usa una matriz de adaptación cromática apropiada, tal como una transformación Bradford. En la etiqueta *chromaticAdaptationTag* del perfil ICC se indica esta transformación.
- h) Los valores de cromaticidad del punto blanco de la carta original, ya convertidos a D50, son registrados en la etiqueta *mediaWhitePointTag*.

²⁰ El paso b y c puede hacerse con otras técnicas más complejas y precisas, pero que no se implementan en las aplicaciones comerciales de perfilado. La técnica de estimar la colorimetría desde los datos de caracterización espectral del dispositivo está suficientemente descrita en otros estándares, pero no es habitual por su complejidad y alto coste. En procedimientos más complejos de caracterización además se incluye un procesado extra para la compensación de defectos de la imagen a nivel espacial y de sensor: falta de uniformidad de iluminación, píxeles defectuosos, reflejos sobre el documento, viñeteado de las lentes, aberraciones de las lentes, etc. Esto requiere la caracterización a estos niveles, que es costosa en tiempo y recursos y muy compleja.

Opcionalmente. También se registra el punto negro en la *mediaBlackPointTag*.

- i) La aplicación de perfilado adapta la colorimetría original, convertida a D50, a la del PCS Colorimétrico relativo al medio. Para ello se ajusta el punto blanco de la carta de color (el punto blanco del medio digitalizado) al punto blanco del PCS Colorimétrico relativo y se escalan el resto de valores. Después de este proceso, los valores XYZ para el punto blanco del medio original (por ejemplo el sustrato del papel o el parche más blanco de la escala de densidades de la carta de perfilado) serán iguales a los valores XYZ de la fuente de iluminación D50 del PCS. La imagen codificada sufre por tanto un aumento en brillo y en rango dinámico.
- j) La aplicación de perfilado corrige la matriz de cálculo anterior para que contenga todos estos ajustes, para conseguir que haya una única matriz para hacer la conversión desde los datos RGB de la imagen al PCS Colorimétrico relativo al medio. Con la aplicación de esta matriz sobre los datos en RGB se pasa la imagen al espacio de color del PCS Colorimétrico relativo al medio. Para la conversión de los datos mediante los perfiles ICC, los datos RGB se linealizan primero y después se aplican las matrices. Los datos de linealización se conservan en los perfiles como curvas tonales para RGB, que se calculan a partir de la escala de grises de la carta de caracterización.
- k) Opcionalmente se pueden generar sistemas de cálculo para otros PCS, lo normal en perfiles de entrada es que se cree además uno para el PCS Perceptual, usando un sistema de cLUT en lugar de una matriz. En este caso se deben aplicar más procesos de adaptación, pues hay más condicionantes que considerar relacionados al medio de referencia y al entorno de visualización de referencia. En esta adaptación se usan modelos de CAM (Modelos de Apariencia de Color).
- l) La aplicación de perfilado crea el perfil ICC partiendo de los sistemas de cálculo anteriores y sus metadatos. El perfil incluye el sistema de cálculo para el propósito de conversión Colorimétrico relativo al medio obligatoriamente. El Colorimétrico ICC absoluto no se requiere, al ser calculable desde la matriz del Colorimétrico relativo al medio.

Cuando la imagen va a ser visualizada, impresa o convertida a un espacio de color RGB estándar (tal como Adobe RGB), la aplicación que haga estos procesos debe convertir la imagen en RGB al PCS del propósito de conversión elegido por el usuario aplicando la matriz o cLUT correspondiente del perfil ICC incrustado. A continuación la reconvierte al PCS del espacio de color de salida, siguiendo el propósito de conversión elegido. Desde este PCS la imagen se convierte otra vez a RGB, si el espacio de color de salida es RGB, pero ya será un RGB dependiente del espacio de color de salida.

A continuación, expresamos de manera gráfica el proceso de transformaciones que sufre una imagen capturada en virtud de la aplicación de este modelo de gestión de color. Para mejorar la comprensión incluimos una simulación de apariencia de la imagen codificada en el PCS.

Para el propósito Perceptual:

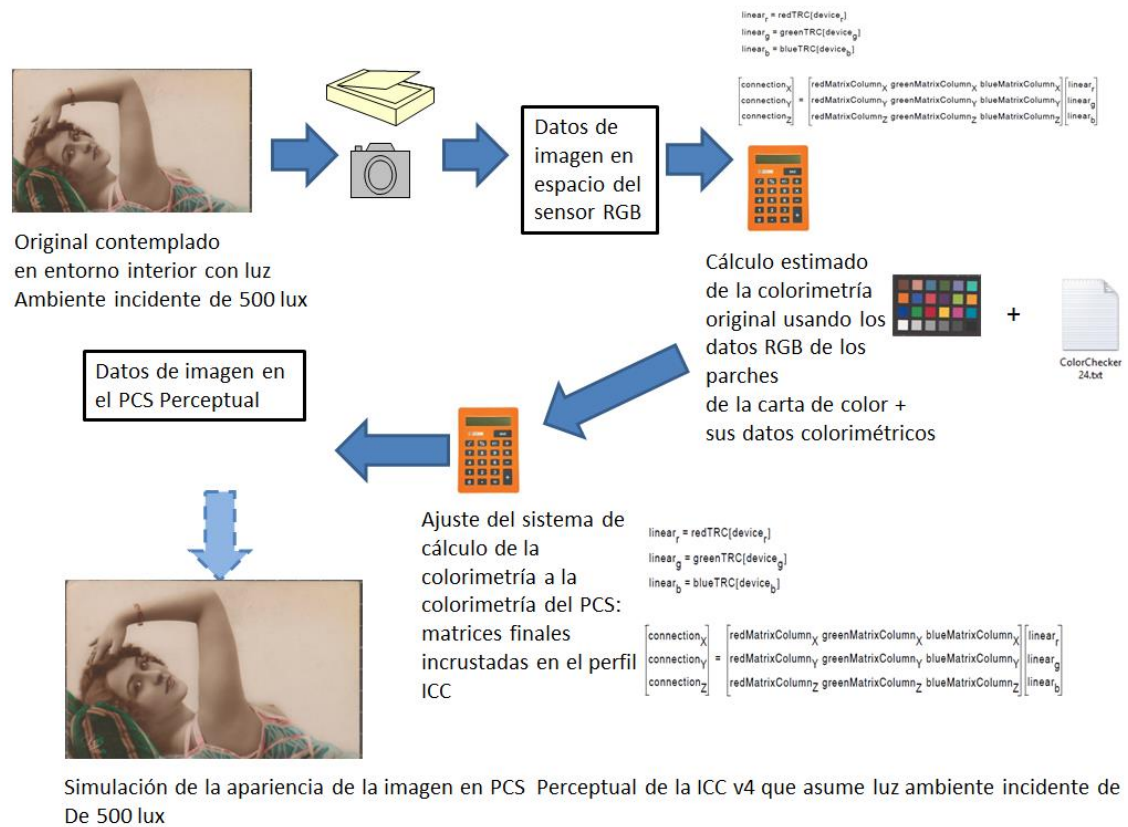


Figura 6. Transformaciones de los datos de imagen para el propósito Perceptual

Para el propósito Colorimétrico relativo al medio:

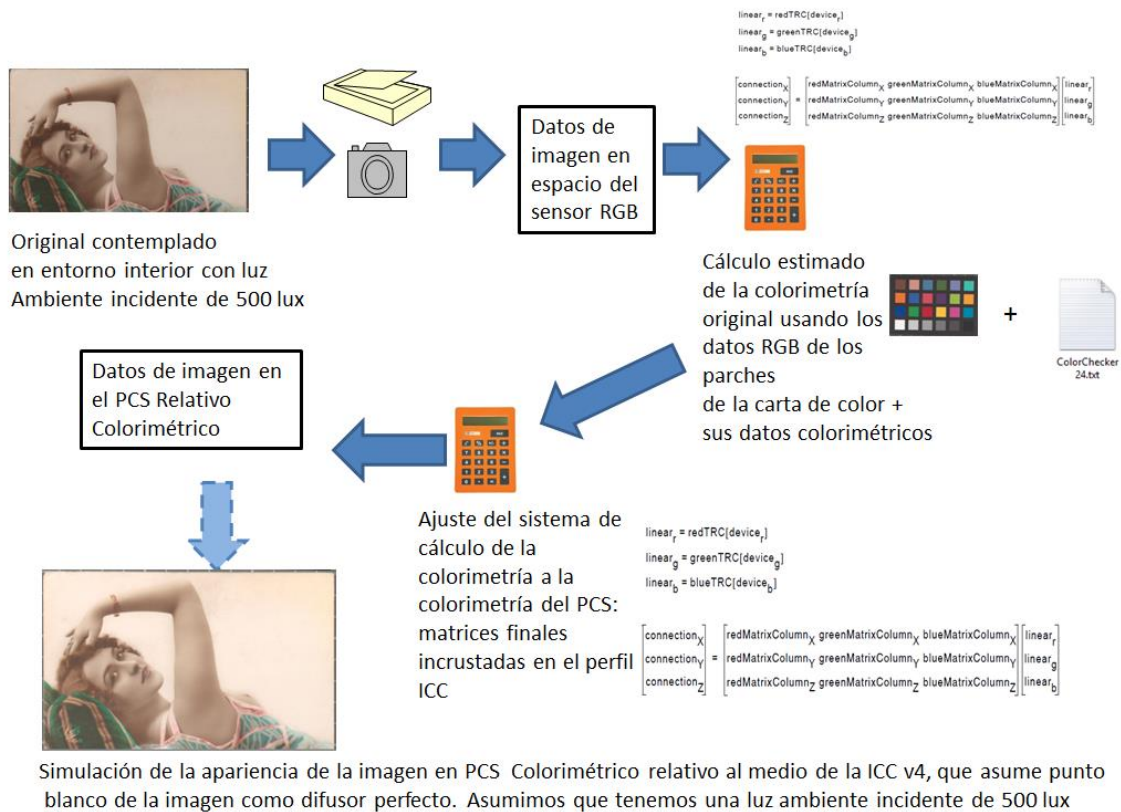


Figura 7. Transformaciones de los datos de imagen para el propósito Colorimétrico relativo al medio

Para la visualización de la imagen en un monitor determinado²¹:

²¹ Para que esos gráficos sean más ilustrativos de lo que implica un proceso de renderización de salida, hemos asumido que el monitor ha sido calibrado con una intensidad de luz de punto blanco baja, por lo que su rango dinámico y capacidad de brillo son inferiores a los del PCS. La calibración del monitor provoca que sea imposible tener la apariencia en la pantalla que se tiene cuando se observa el original en las condiciones de luz ambiental descritas en los ejemplos. La imagen se percibe con menos brillo, menos contraste y colores menos saturados, aunque la gestión de color aplicada bajo los perfiles ICC intenta aproximar lo más posible la apariencia en la pantalla a la apariencia del original en unas condiciones de entorno de observación de interior.

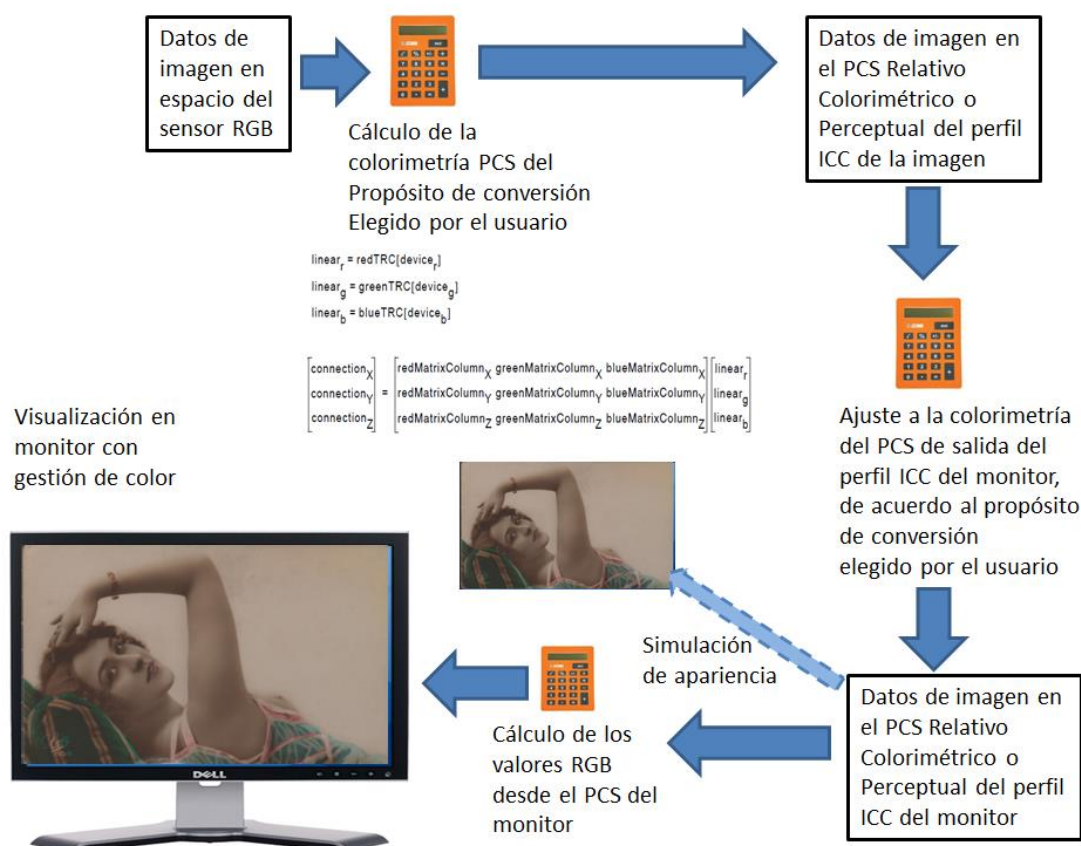


Figura 8. Transformaciones de los datos de imagen para su envío a un monitor

Si el monitor donde se visualiza la imagen es de calidad para trabajo profesional en Artes Gráficas, está calibrado para unas condiciones similares a la del apartado P2 del estándar ISO 3664 (tales como una intensidad de punto blanco próxima a 115 cd/m^2 y temperatura de punto blanco D50), y además tiene una gama de colores amplia y un rango de contraste suficiente, la adaptación de la imagen codificada en PCS a su espacio de color que haga el gestor de color, tanto siguiendo los propósitos de conversión colorimétrico relativo al medio como perceptual, procurará una apariencia de la imagen muy próxima a la que tendría cuando se visualiza en una cabina de visualización profesional que siga los estándares profesionales y esté ajustada para las condiciones P2 de este estándar. Podremos hablar, entonces, de una virtualización en pantalla de la apariencia de la imagen codificada en el PCS. O lo que es lo mismo, es como si contempláramos la imagen directamente en el PCS.

En el perfil ICC que se incrusta en el fichero de imagen digital, en el metadato “*Rendering Intent*” queda reflejado el último propósito de conversión de espacio de color usado en la conversión al espacio de color actual de la imagen. Si no se ha hecho ninguna conversión de espacio de color, en ese metadato figura la opción por defecto, que es colorimétrico relativo al medio. De esta manera, una imagen con perfil de color incrustado es autoindicativa de la apariencia codificada en su espacio de color.

2.2.4 Imágenes en espacio de color RGB renderizado y descrito por un perfil de color ICC

2.2.4.1 Principios de codificación

Hemos de considerar que las imágenes de este tipo son normalmente renderizadas (*output referred*), ya que su colorimetría (recordamos, calculable a través del perfil ICC exigido) no es referida a la escena o vista del documento u obra captada en la imagen digital, sino a la de la representación virtual de esa imagen digital en un medio de salida de referencia y bajo unas condiciones de iluminación ambiental de referencia, que serán las especificadas para el *Profile Connection Space* (PCS) en el perfil ICC de la imagen que describe el espacio de color de la imagen.

Los espacios colorimétricos CIE usados en los perfiles de color ICC (normalmente CIELAB o CIE XYZ) se denominan dentro del estándar ICC como *Profile Connection Space*, abreviado PCS. Cuando se trata de perfiles ICC de espacios de color renderizados, los espacios colorimétricos CIE son usualmente normalizados para unas condiciones de percepción y medios de salida de referencia determinados²². Esa normalización afecta al rango tonal y a la gama de colores de la imagen inicialmente captada antes de su renderización, que son ajustados a los condicionantes de los medios de reproducción o visualización de referencia y a los entornos de observación de referencia del espacio de color. Ese ajuste es un proceso de renderización, por lo que la colorimetría que puede obtenerse a través de los perfiles ICC, habitualmente, no es la de aquello que ha sido digitalizado, sino de la que presentaría su imagen en el medio de salida de referencia y bajo las condiciones de luz y colores ambiente del entorno de visualización de referencia. Esto no ocurre así, como veremos más abajo, en los perfiles ICC de espacios diseñados especialmente para ser no renderizados, esto es, *input referred*, en los que se definen condiciones de observación, pero no un medio de referencia para el que se codifica la imagen. Tampoco ocurre para algunos de los propósitos de conversión de espacios de color del estándar ICC²³.

²² Esta apreciación es muy general, pues hay muchas excepciones a la renderización de los PCS en el paradigma de gestión de color de la ICC y éste ha sufrido una evolución significativa entre la versión 2 y la versión 4. Para obtener una información más exhaustiva sobre cómo se aplica la renderización del PCS en las versiones 2 y 4 de los perfiles ICC léase el epígrafe titulado *Evolución del concepto de renderización en la estandarización de los perfiles ICC*, más abajo en este mismo capítulo.

²³ Remitimos de nuevo al lector epígrafe titulado *Evolución del concepto de renderización en la estandarización de los perfiles ICC*. Aquí se explican los tipos de PCS de ambas versiones del estándar ICC que se usan habitualmente en la actualidad (la 2 y 4), y si se les aplica o no un proceso de renderización. En la versión 4 del estándar de perfil ICC no se admite renderización para los PCS de los propósitos de conversión

Vamos a dar algunos detalles más sobre el funcionamiento de los PCS para ayudar a entender mejor el concepto de renderización. Como venimos indicando, los espacios del PCS de un espacio de color RGB son referidos a un medio de referencia (*reference medium*) si son renderizados (*rendered/output referred*), que suele ser de tipo monitor o de tipo papel impreso de fondo blanco. Ese medio de referencia define variables como:

- Nivel de luminancia para el blanco más blanco (punto blanco). Por ejemplo 160 cd/m².
- Nivel de luminancia para el negro más negro (punto negro). Por ejemplo 0,55 cd/m².
- Razón de contraste. Que equivale a la división del nivel de luminancia del punto blanco por la del punto negro, por ejemplo, 288:1.
- Temperatura de color del punto blanco (valores de cromaticidad del punto blanco). Por ejemplo D65, que equivale a 6500 K.
- Temperatura de color del punto negro (valores de cromaticidad del punto negro). Por ejemplo D65.

Y también son referidos a un ambiente de visualización de referencia (*reference viewing environment*), que son las condiciones de luz y colores alrededor del punto de visualización de la imagen en el medio de referencia. Esto es así, porque los factores medioambientales influyen fuertemente en la percepción de los colores. Los ambientes de referencia se definen también para los perfiles *input referred*. Ese ambiente de referencia define variables como:

- El color que rodea a la imagen que se visualiza. Por ejemplo, gris perfectamente neutro.
- La luminancia de la luz reflejada por la superficie que rodea la imagen representada. Por ejemplo: en términos absolutos, 32 cd/m²; o de manera relativa, 18% de la intensidad de luz.
- Iluminancia del ambiente de visualización. Por ejemplo: 503 lux.
- La existencia o no de luz parásita (reflejos sobre la imagen que se observa) que puede afectar al contraste de la imagen.

de espacio de color Colorimétrico ICC-Absoluto y Colorimétrico relativo al medio. Pero en la versión 2, que es la más usada en nuestros días, sí que se obliga a la renderización del PCS del propósito Colorimétrico relativo al medio. Además, hay fabricantes de aplicaciones de creación de perfiles ICC que aplican renderización al propósito Colorimétrico relativo al medio incluso en la versión 4. Por ello, hablamos de “habitualmente renderizados” cuando nos referimos a los espacios de color descritos en los perfiles de color ICC de dispositivos de captura o de espacio RGB independiente de dispositivo estandarizado.

- Temperatura de color de la luz ambiente. Por ejemplo D65.
- Nivel de luminancia para el blanco más blanco (punto blanco) del ambiente. Por ejemplo 160 cd/m².

En los perfiles de color también se suelen definir otras variables de los propios PCS o de los datos de imagen digital, tales como:

- El observador estándar del espacio CIELAB o XYZ, tal como observador estándar de 2 grados.
- La geometría de medición del estímulo de color, tal como 0°/45°
- La linealidad, esto es, si está ajustada la imagen en RGB a un valor gamma determinado o es lineal.
- El estado de imagen: *input* o *output referred*, o sus tipos.

Estas condiciones de visualización del PCS están definidas para cada espacio de color RGB que ha sido especificado normativamente. En las especificaciones de los espacios de color figuran estos datos, que marcan la manera en que se va a ajustar la conversión desde los valores RGB del espacio al espacio del PCS (CIELAB o XYZ). Mostramos a continuación, a modo de ejemplo algunos datos de la especificación ROMM RGB:

Color space

Type: Colorimetric RGB color space

Color gamut: Extended

White point luminance: 142 cd/m²

White point chromaticity: $x = 0.3457$, $y = 0.3585$ (D50)

Encoding

Encoding range: linear RGB: 0.0 to 1.0

Bit depth: 8, 12, 16

Image state: Output-referred (print)

Reference viewing environment

Image background (proximal field): Unspecified

Viewing surround: 32 cd/m²

Ambient illuminance: 503 lux

Adapted white point luminance: 160 cd/m²

Adapted white point chromaticity: $x = 0.3457$, $y = 0.3585$ (D50)

Reference medium

White point luminance: 142 cd/m²

White point chromaticity: $x = 0.3457$, $y = 0.3585$ (D50)

Black point luminance: 0.5 cd/m²

Black point chromaticity: $x = 0.3457$, $y = 0.3585$ (050)

ROMM RGB es un espacio de color RGB independiente de dispositivo renderizado, por lo que se basa en una conversión ajustada a un medio de salida de referencia, de tipo papel impreso. Esto acarrea el espacio del PCS se pondere necesariamente para ese medio: se adaptan los puntos blanco y negro y los valores de color de la imagen para conseguir una representación acorde a ese medio de referencia bajo las condiciones de entorno de visualización también de referencia, asumiendo un observador humano estándar perfectamente adaptado a esas condiciones de visualización. El PCS codifica la apariencia de la imagen de acuerdo a estas condiciones. Esto no significa que esta apariencia sea la que percibamos cuando la imagen en ROMM RGB, por ejemplo, se envía a un monitor o papel impreso. En este segundo paso interviene otro proceso de conversión de la imagen más: la imagen codificada en el PCS debe ser transferida a un medio de salida (como una pantalla del monitor o un papel impreso), por lo que requerirá un nuevo ajuste para poder conseguirse en estos medios físicos la mayor proximidad a la apariencia virtual codificada en el PCS, contando con las limitaciones de rango dinámico y gama de colores de estos y con las características del entorno de visualización típicos de estos dispositivos o medios.

La imagen sufre, consiguientemente, un nuevo proceso de renderización que es realizado por el sistema de gestión de color del sistema operativo (de acuerdo al propósito de conversión de color configurado por el usuario en los ajustes de color) gracias a la aplicación de otro perfil ICC, el del dispositivo de salida. La imagen resultado de este segundo proceso de renderización podrá ser más o menos brillante, saturada o contrastada según las características de rango dinámico y saturación que presente en dispositivo en la configuración actual. La apariencia final de la imagen representada en el dispositivo o medio de salida dependerá también de la adecuación del entorno de percepción y de la salud visual del observador.

Hay una amplia gama de factores subjetivos y físicos que determinan la apariencia de las imágenes visualizadas o reproducidas en medios físicos de salida, que evidentemente no deben ser contraladas en la digitalización. La función de la digitalización patrimonial es conseguir una codificación de las imágenes que permita una buena aproximación a la apariencia de los originales en unas condiciones de percepción controladas y conocidas. También es deseable, asimismo, ir más allá de la subjetividad que implica codificar la apariencia a nivel perceptual, consiguiéndose que a través de esa

codificación se pueda llegar al conocimiento objetivo de algunas características físicas de aquellos.

RIMM RGB, por ejemplo, es un espacio no renderizado, del tipo *scene referred*, por lo que no representa en el PCS la colorimetría de un medio de salida concreto bajo unas condiciones de visualización concretas, sino la colorimetría de la escena bajo unas condiciones de visualización típicas de una vista de exteriores, caracterizadas por una luz ambiental muy intensa. Por eso sus valores de intensidad de luz del entorno de visualización de referencia son muy altos, de miles de cd/m² y luxes, y, al no ser renderizado, no ofrece datos de un medio de referencia. Listamos sus principales atributos de acuerdo a su especificación técnica:

Color space

Type: Colorimetric RGB color space

Color gamut: Extended

RGB primaries:

X	Y	Z
R	0.7347 0.2653	0.0
G	0.1596 0.8404	0.0
B	0.0366	0.00010.9633

White point luminance: 15000 cd/m²

White point chromaticity: x = 0.3457, y = 0.3585 (D50)

Encoding

Enconding range: linear RGB: 0.0 to 2.0

Bit depth: 8, 12, 16

Image state: Scene-referred

Reference viewing environment

Image background (proximal field): Unspecified

Viewing surround: 3000 cd/m²

Ambient illuminance: 47124 lux

Adapted white point luminance: 15000 cd/m²

Adapted white point chromaticity: x = 0.3457, y = 0.3585 (D50)

Reference medium

White point luminance: N/A

White point chromaticity: N/A

Black point luminance: N/A

Black point chromaticity: N/A

En términos teóricos, a las imágenes renderizadas (a través de su perfil ICC o de su transformación a un espacio de color independiente de dispositivo renderizado) no las podríamos denominar como representaciones de los originales capturados, sino como reproducciones, pues su codificación, como ya sabemos, representa no al original sino a la reproducción virtual de ese original en un medio de referencia y bajo unas condiciones de percepción y observador estándar de referencia. Como esta forma de codificar es relativamente sencilla de aplicar con herramientas comerciales y de fácil acceso y manejo y con productos de bajo coste, se ha impuesto como práctica habitual en la mayoría de los proyectos de digitalización de obras de arte y de documentos, por lo que su uso entra dentro de las pautas de trabajo que podríamos considerar como normales en otros proyectos similares. Además, hemos de hacer constar otra ventaja: las imágenes estarán preparadas para su visualización y reproducción impresa con una amplia gama de dispositivos y aplicaciones fácilmente accesibles y de bajo coste.

La pauta de renderización que acabamos de describir ha variado en paralelo a la evolución del estándar de perfil ICC desde su primera formulación. Remitimos al lector al epígrafe siguiente (*Evolución del concepto de renderización en la estandarización de los perfiles ICC*) para obtener información en extenso sobre esta cuestión.

Los procedimientos de gestión de color que se realizan durante los procesos de visualización o impresión de imágenes hacen uso de los perfiles de color de las imágenes, tratando de procurar en el medio de salida (monitor o papel impreso) reproducciones que simulan la percepción de las imágenes reproducidas en el medio de referencia (para un *output referred*/renderizado) y bajo las condiciones del entorno de visualización de referencia definidos en el PCS del espacio de color del perfil. Con el uso de este sistema de codificación hemos de asumir las limitaciones del sistema de gestión de color basado en perfiles ICC y de tener que mover las imágenes entre diferentes medios que pueden ser muy diferentes en sus posibilidades de registro de color y entornos de uso (el propio original, el monitor de ordenador, un papel impreso, etc.): la gestión de color ICC no se ha diseñado para la igualdad colorimétrica absoluta de las imágenes ni en fichero ni en el medio en el que se visualizan o reproducen, sino para crear imágenes placenteras a la vista o perceptualmente similares en el medio de visualización o impresión.

Idealmente, con la gestión de color sí que se podría transformar correctamente y con exactitud colorimétrica la información de color desde un medio a otro; pero, desafortunadamente, esto es algo extremadamente

difícil de producir en la realidad. Esto se debe a que hay diferencias significativas en las gamas de color y rangos de contraste reproducibles en los diferentes dispositivos reales o virtuales, así como en las condiciones ambientales de visualización entre los diferentes medios. Esta diferencia deriva en que una aproximación colorimétrica de colores desde un medio a otro no produce nunca una apariencia de similitud a un observador humano. A la hora de reproducir imágenes a lo largo de diferentes medios, es preciso hacer una aproximación de apariencia en lugar de una aproximación colorimétrica exacta, para que un observador humano pueda percibir proximidad entre aquello que ha sido digitalizado y su reproducción. Por este motivo, son necesarios los algoritmos de transformación de las imágenes implícitos en la tecnología de color (denominados habitualmente como propósitos de conversión) y, por tanto, en los perfiles de color ICC. Se trata básicamente de algoritmos de correspondencia entre las diferentes gamas de color y de rango dinámico de los distintos espacios de color que se manejan en el canal de la digitalización (*gamut mapping*).

Otro problema de los sistemas de perfiles ICC es que su calidad está condicionada por la idoneidad de la carta de muestras de color de caracterización (la carta de color usada para hacer el perfil) y la corrección y precisión de los datos colorimétricos de sus parches. El procedimiento normal de caracterización de un dispositivo se basa en el uso de un conjunto predeterminado y pequeño de “colores de entrenamiento” (los parches de color de la carta de caracterización) que se acompañan de sus respectivos valores colorimétricos. Este procedimiento se usa en las aplicaciones comerciales dado que facilita enormemente el proceso de caracterización y el tiempo requerido para la consecución del perfil. El inconveniente de este sistema es que la precisión del perfil depende del ajuste de las características espectrales de los colores de la carta a la de los documentos o elementos a ser digitalizados, bajándose radicalmente en precisión a medida que el ajuste es menor. También requiere la selección de un buen conjunto de colores, que sea suficientemente representativo de los colores contenidos en el objeto a digitalizar, y el que el acabado de las superficies de objeto y colores de prueba se aproximen lo más posible para que la respuesta ante la luz incidente sea muy similar.

Un procedimiento muy preciso de caracterización acorde con este sistema requeriría la fabricación personalizada de cartas de color para los diferentes tipos de objetos que van a ser capturados, lo que encarece enormemente el proceso y dificulta el uso de aplicaciones comerciales de caracterización que trabajan sólo con un limitado número de cartas de color estandarizadas.

Hay procedimientos más sofisticados de caracterización de dispositivos que no necesitan el uso de colores de prueba, pero que son complejos de realizar y muy intensivos en tiempo, como el sistema de caracterización de la sensibilidad espectral de dispositivos tipo cámara fotográfica digital descrito en el estándar ISO 17321-1:2012. *Graphic technology and photography -- Colour characterisation of digital still cameras (DSCs) -- Part 1: Stimuli, metrology and test procedures*. Dado el alto coste de la tecnología requerida y de la dificultad de incorporar el procesado de color requerido a los flujos de trabajo, no recomendamos su uso en el proyecto.

El poder mantener a lo largo del flujo de visualización y reproducción la apariencia de fidelidad entre la vista de la obra digitalizada que ha sido captada antes unas condiciones de percepción determinadas (que recordamos vienen especificadas en el espacio de color normalizado del PCS del perfil ICC) depende de un perfil ICC. Por lo que el uso de forma de codificación requerirá la realización de perfiles ICC correctos. Es conveniente que la calidad de estos perfiles sea evaluada antes de su aplicación a las imágenes digitales. El proceso de evaluación puede ser visual, mediante pruebas visuales que cotejen la apariencia de unas capturas de prueba con respecto a sus originales ubicados en una cabina de visualización normalizada y que aplica unas condiciones de percepción normalizadas. También se puede realizar automáticamente mediante las pruebas descritas más abajo en el apartado dedicado a Calidad cromática.

No se permitirá la edición de perfiles de color ICC, salvo que este proceso se haga de forma muy controlada y por personal especializado, y sólo con la finalidad de poder mejorar la fidelidad de apariencia de color que procura el perfil. Se aplica esta pauta, dado el alto riesgo de dañar la calidad del perfil ante procesos de edición incorrectos

No se admitirá el uso de perfiles ICC genéricos de dispositivos de captura. Los perfiles de dispositivo se realizarán de manera específica mediante una aplicación de perfilado de calidad y de uso común en la industria de la imagen digital.

Se deberá hacer un perfil de color ICC para cada conjunto de condiciones de captura: dispositivo y óptica, tipo e intensidad de iluminación, geometría de la iluminación, distancia de enfoque, parámetros de configuración del dispositivo y carta de color. Cualquier cambio en las condiciones de captura requerirá un nuevo perfil.

El costo de consecución y aplicación de la tecnología necesaria para aplicar este sistema es bajo dentro de la opción tecnológica más asequible, habiendo múltiples dispositivos y software de amplia comercialización disponibles en el mercado y siendo los procesados muy rápidos para personal experimentado, por eso estamos ante una tecnología preferida en los proyectos de digitalización de documentos y obras de arte.

Bajo ningún concepto se admitirá para las imágenes másteres una adaptación a un dispositivo o tipo de dispositivo concreto, pues este proceso puede conllevar una pérdida irrecuperable de información cromática, tonal y de rango dinámico que es inadmisibles para una imagen máster. Por este motivo, se prohíbe la realización de procesos de edición subjetivos, con la imagen visualizada en monitor, ya que estos procesos suelen estar guiados no por la apariencia codificada en la imagen digital sino por la apariencia de la imagen en una visualización concreta que se haga desde el monitor. Con estos procedimientos, en realidad, se está ajustando la imagen para su visualización en un monitor concreto, con sus propias limitaciones de rango dinámico, gama de colores y circunstancias de entorno de trabajo. Este tipo de procesos implicaría tener las imágenes en un nuevo estado de codificación que no es admitido para este proyecto, que suele ser denominado como codificación específica de dispositivo de salida.

Se admitirán las dos variantes de codificación que describimos en los siguientes subepígrafes.

2.2.4.2 Evolución del concepto de renderización en la estandarización de los perfiles ICC

La versión 2 del estándar de perfil ICC estableció el PCS como un espacio de color completamente renderizado, debido a que su función fue concebida como espacio de color para representar la apariencia del color de la imagen sobre un medio de referencia y un entorno de observación de referencia. El medio de referencia se hizo corresponder a un papel impreso ideal, cuyo blanco más intenso equivale a un difusor o reflector perfecto (refleja el 100% de la luz incidente, o lo que es lo mismo, su D_{min} es igual a 0), contemplado en una cabina de visualización estandarizada de acuerdo a ANSI que cuenta con un iluminante D50, un observador estándar CIE 1931 y una geometría de medición de 0/45 o 45/0. Las condiciones de observación de referencia corresponden a las del P2 del estándar ISO 3664 sobre condiciones de visualización, con una superficie del 20% de reflectancia alrededor de la imagen y una intensidad de luz ambiental sobre el medio de referencia de 500 lux²⁴. Este medio de referencia ideal tiene un rango dinámico infinito, ya que el negro podría tener 0% de reflectancia, lo que equivale a decir una densidad óptica infinita. Este medio de referencia se usa para el PCS Colorimétrico relativo.

Para hacernos una idea de lo que representan estas condiciones, hemos de pensar que 500 lux de una fuente de luz D50 es la iluminación típica de una cabina de visualización normalizada, de las que se usan habitualmente en Artes Gráficas para hacer pruebas de color. Viene a ser también la iluminación típica de una oficina, un poco más intensa que la luz habitual en el ámbito doméstico. Las pantallas de los monitores de ordenador de calidad suelen ser calibradas para una luz blanca de máxima intensidad de 115 cd/m² con una temperatura aproximada de D50 cuando se trabaja en procesos de edición de imágenes digitales. La sensación de brillo del blanco de esas pantallas viene a ser equivalente, aproximadamente, a la sensación de brillo que daría el punto blanco del medio de referencia de la especificación ICC mencionada. Si pensamos en un papel, vendría a ser equivalente al blanco de un folio en papel no reciclado de alta calidad (un blanco de aproximadamente un 89% de reflectancia) cuando se visualiza en una cabina normalizada con una intensidad de luz algo más alta, en torno a 600 lux.

De acuerdo a esta especificación, cuando el medio y entorno de visualización de los parches de color y grises de las cartas usadas para la creación del perfil

²⁴ ICC [International Color Consortium]. *Specification ICC.1:2001-04. File Format for Color Profiles [REVISION of ICC.1:1998-09]*, 2001, p. 65. Disponible en: http://www.color.org/ICC_Minor_Revision_for_Web.pdf. 1 lux equivale a 1 candela por metro cuadrado.

ICC (o de los colores de perfilado de una pantalla de monitor, por ejemplo) no coincidan con el medio y entorno de referencia del PCS, el software empleado para hacer el perfil ICC del dispositivo se ve obligado a realizar las adaptaciones oportunas en la colorimetría de esos colores de perfilado para conseguir su coincidencia. De esta manera la colorimetría del original digitalizado en el espacio del PCS se corresponderá con las condiciones de referencia del PCS señaladas. La aplicación creadora del perfil se ve obligada, por tanto, a ajustar los datos de la imagen codificada en el PCS para los efectos del entorno de visualización de referencia.

La colorimetría del PCS en esta concepción es relativa al medio. Esto quiere decir que está adaptada al color del iluminante de referencia (D50) y a la intensidad del punto blanco de referencia, por lo que la imagen representada en el espacio PCS debe sufrir un ajuste para meter su rango dinámico en el del medio de referencia. Este aspecto es muy relevante, pues implica que en el PCS se pierde la colorimetría del documento original que se digitaliza: cuando se crea un perfil de entrada, el valor Dmin del medio de entrada debe hacerse corresponder con el punto blanco del PCS, que es D50 y representa una densidad óptica nula, de 0 OD. Por ello, el blanco del documento se transforma, en temperatura de color y en intensidad, en la imagen codificada en PCS, pues siempre tendrá una mayor densidad que 0 OD.

Podemos asumir que la apariencia de la imagen digital codificada en el PCS Colorimétrico relativo sería próxima a la que tendría en unas condiciones normales de observación en entornos de trabajo profesionales de Artes Gráficas o Fotografía, o cuando se reproduce en monitores de ordenador de alta calidad calibrados en D50 con punto blanco de unas 115 cd/m², aunque un poco más clara, al hacerse corresponder el punto blanco del original (pensemos en el fondo del papel o el blanco más intenso de una fotografía en papel) a la máxima intensidad de blanco del monitor o de la cabida de visualización.

En las siguientes imágenes tratamos de simular el aumento en claridad de una imagen cuando se codifica en PCS. Arriba su apariencia en unas condiciones próximas a las de una cabina de visualización D50 con una intensidad de luz de 500 lux, y abajo su apariencia tras ajustar su punto blanco para que se corresponda con la luminancia de un difusor perfecto en esa misma cabina.

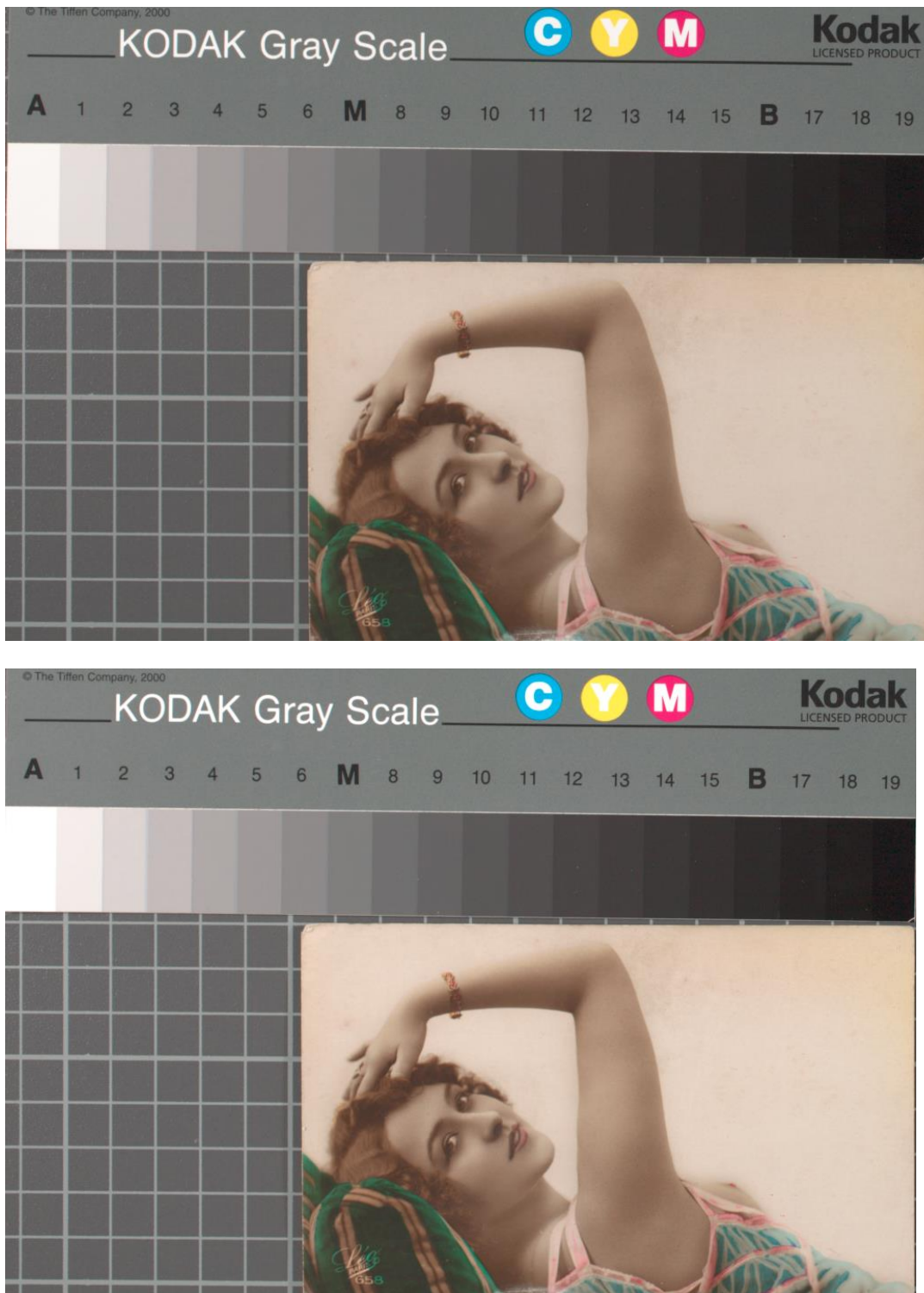


Figura 9. Simulación del aumento en claridad de una imagen cuando se codifica en PCS

Cuando el punto blanco (XYZ D50) del PCS debe ser mapeado al punto blanco del medio de salida (cuando se hace, por ejemplo, una transformación de espacio de color para una visualización en pantalla o una impresión en papel), entonces se hace corresponder con la superficie de menor densidad

(el Dmin) de dicho medio. Esto permite una transferencia de la apariencia general a nivel perceptual de las imágenes entre medios diferentes. No obstante, cuando se elige un propósito de conversión de tipo colorimétrico absoluto, el ajuste de punto blanco y rango dinámico originales realizado en el PCS puede ser revertido a partir de los metadatos del perfil ICC²⁵ usando la misma ecuación de transformación por defecto del perfil, que es la colorimétrica relativa al medio. Se trata de revertir cualquier adaptación de los datos colorimétricos al medio y entorno de referencia del PCS. Así, en teoría, podría producirse una salida con la colorimetría original del documento, por supuesto dentro de las no siempre pequeñas limitaciones de precisión que para su registro tiene el sistema de cálculo de las matrices o tablas de conversión de espacio de color del perfil ICC. Esta posibilidad es reconocida explícitamente en la propia especificación ya referida de la versión 2 del estándar de perfil ICC²⁶ y se vincula con la reproducción colorimétrica exacta que se requiere en la captura de obras de arte o en el ámbito científico.

La concepción inicial del PCS fue cambiada en la versión última (la versión 4)²⁷, para permitir una mayor flexibilidad en la codificación del color de las

²⁵ En concreto se hace mediante la etiqueta que registra el valor XYZ del parche más blanco de la carta de perfilado, tras su adaptación al iluminante D50: *mediaWhitePointTag*. Como el punto blanco del PCS Colorimétrico relativo al medio es un difusor perfecto y el punto blanco del medio real digitalizado será siempre menor al difusor perfecto, en la conversión desde los datos colorimétricos reales a los del PCS se sube la intensidad del punto blanco, y consecuentemente, el rango dinámico del medio original. Para conseguir los datos en Colorimétrico absoluto es necesario detraer esa subida de intensidad y de rango dinámico a cada valor X, Y y Z. Para ello se reduce el valor de los datos del PCS colorimétrico proporcionalmente a la subida de intensidad realizada previamente a los datos absolutos para conseguir el PCS, mediante la siguiente ecuación

$$X_a = \left(\frac{X_{mw}}{X_i} \right) \cdot X_r$$

$$Y_a = \left(\frac{Y_{mw}}{Y_i} \right) \cdot Y_r$$

$$Z_a = \left(\frac{Z_{mw}}{Z_i} \right) \cdot Z_r$$

donde XYZa son los valores colorimétricos absolutos de destino, XYZr los valores colorimétricos relativos de entrada, XYZmw representa el punto blanco del medio original digitalizado especificado en la *mediaWhitePointTag* y XYZi representa el iluminante del blanco del PCS (D50 - X=0,9642, Y= 1, Z = 0,8249), que al ser un difusor perfecto será el de la fuente de luz.

²⁶ En su página 94, párrafo 4 (D.15).

²⁷ ICC [International Color Consortium]. *Specification ICC.1:2010-12 (Profile version 4.3.0.0) Image technology colour management - Architecture, profile format, and data structure*. 2010. Disponible en: http://www.color.org/specification/ICC1v43_2010-12.pdf.

imágenes. Como indica el propio ICC en uno de los documentos de referencia de esta última versión²⁸, los espacios de color PCS no incorporan, en realidad, el efecto del ambiente de iluminación de referencia; tampoco la intensidad de luz ambiental incidente sobre el original que se captura ni las limitaciones de razón de contraste de la imagen. Por ello, los valores de color del PCS por sí mismos no especifican la apariencia de la imagen. Para superar este problema de los PCS se utilizan desde esta última versión dos soluciones diferentes²⁹.

La primera solución se denomina como PCS colorimétrico, y se limita a describir la colorimetría de los originales reales que son digitalizados (con los perfiles de entrada) o de sus reproducciones (con los perfiles de salida) tras su adaptación a la temperatura de color del iluminante del PCS y a la intensidad de luz del punto blanco de referencia para el PCS colorimétrico. Esta colorimetría está basada en las medidas colorimétricas de los píxeles del original capturado, que normalmente son inferidas desde los datos RGB de la imagen, en el caso de perfiles de entrada, a partir de las medidas colorimétricas exactas de los colores usados en la carta de perfilado³⁰. Esta es la opción de los propósitos de conversión de espacios de color de tipo colorimétrico (colorimétrico absoluto y colorimétrico relativo al medio).

En el propósito colorimétrico relativo al medio se asume que el punto blanco del PCS coincide en su densidad con un difusor perfecto (que refleja el 100% de la luz incidente, esto es, el blanco más intenso de la imagen coincide en intensidad y temperatura de color la luz ambiental incidente, correspondiendo al máximo valor L^* ($L^*=100$, es escala de 0 a 100)). En consecuencia, precisa de una adaptación de punto blanco, que igualmente hará más clara la imagen cuando se codifica en el PCS. En esta codificación, además de este ajuste de punto blanco, se mantienen las relaciones entre todos los colores dentro de la gama del PCS mediante un escalado proporcional al cambio realizado en los blancos. El punto negro no se hace corresponder con ningún valor predeterminado, tras el escalado de los colores requerido por el ajuste de punto blanco, se deja donde caiga.

Con esta forma de codificación del PCS colorimétrico se pueden obtener las lecturas estimadas del colorímetro del original capturado de forma directa reversando los ajustes descritos. Es lo que se hace en el propósito

²⁸ Specification ICC.1:2004-10 (Profile version 4.2.0.0). *Image technology colour management — Architecture, profile format, and data structure*. 2006. Disponible en: http://www.color.org/ICC1v42_2006-05.pdf, páginas vi y vii.

²⁹ Se puede obtener una buena aproximación a las diferencias entre ambas versiones del estándar, v2 y v4, y sus consecuencias de cara a la codificación de las imágenes en Phil Green (ed.) *Color management understanding and using ICC profiles*. Chichester [UK]: John Wiley & Sons, 2010.

³⁰ Se usan dos posibles procedimientos: matrices, cuyos coeficientes son calculados aplicando un procedimiento de regresión; o tablas (color-LUT), que correlacionan los valores RGB de entrada con sus correspondientes valores colorimétricos. En el caso de las tablas se aplica un procedimiento de interpolación a partir de los colores presentes en la tabla para poder estimar la colorimetría de los colores de la imagen no presentes en la tabla.

colorimétrico absoluto. No hay ningún tipo de renderización de color en el PCS colorimétrico. El rango dinámico del PCS en estos dos propósitos es también infinito, al no estandarizarse el valor de densidad del punto negro³¹.

Al hacer la transformación de espacio de color mediante el PCS colorimétrico, siguiendo el propósito colorimétrico relativo al medio, se permite que el gestor de color haga compensación de punto negro en el espacio de color de destino. Este proceso deriva en que el punto negro de la imagen se hace coincidir con el punto negro del espacio de color de destino. De esta manera se evita el recorte de los tonos de sombra más oscuros que el valor del punto negro de destino si este destino es más claro que el de la imagen de partida.

El propio estándar en la última revisión de la versión 4 ha especificado mucho más la cuestión de a qué alude la colorimetría del original en los dos propósitos de conversión colorimétricos, identificando hasta cinco estados de imagen diferentes: *Scene colorimetry estimates*, *Scene appearance estimates*, *Focal plane colorimetry estimates*, *Reflection hardcopy original colorimetry* y *Reflection print output colorimetry*³². Si no se especifica este estado, se asumen que la colorimetría no representa una escena sino una copia impresa o visualización en pantalla de monitor. El motivo de esta especificación es que las medidas de la colorimetría del original captura quedan ambiguas si no se especifica bien lo que está siendo medido. El punto blanco refiere a diferentes conceptos de blanco en función de estos estados de imagen y de si el intento es relativo o absoluto. Por ejemplo, para dispositivos de captura, cuando se aplica un propósito de conversión de espacio de color de tipo colorimétrico relativo al medio, el punto blanco es considerado como el punto blanco del medio de referencia, y todos los valores colorimétricos serán relativos a este punto blanco, que será el blanco máximo codificado de la codificación de la captura (*encoding maximum white for the capture encoding*). No hay mucha variación con respecto a la versión 2, en lo relativo a los propósitos de conversión colorimétrico relativo al medio y absoluto, salvando la falta de definición de entorno de visualización para el PCS y esta mayor especificidad de puntos blancos. De la misma manera, la colorimetría absoluta, esto es, referida al original digitalizado, se puede calcular usando la misma transformación al PCS que para la colorimetría relativa al medio.

La segunda solución, que se denomina como PCS Perceptual, describe la colorimetría del color de una imagen renderizado a un medio de referencia estándar en unas condiciones específicas de observación. Una laguna de la

³¹ En las páginas 95 a 99 del estándar ICC en su versión 4.3 se puede obtener una descripción paso a paso, con un ejemplo, del proceso de adaptación de los datos desde la colorimetría original del medio que se captura a la colorimetría del PCS. Véase ICC [International Color Consortium]. Specification ICC.1:2010-12 (Profile version 4.3.0.0) *Image technology colour management - Architecture, profile format, and data structure*. 2010, p. 36 y ss. Disponible en: http://www.color.org/specification/ICC1v43_2010-12.pdf

³² ICC [International Color Consortium]. Specification ICC.1:2010-12 (Profile version 4.3.0.0) *Image technology colour management - Architecture, profile format, and data structure*. 2010, p. 36 y ss. Disponible en: http://www.color.org/specification/ICC1v43_2010-12.pdf

versión 2 de la especificación de perfil ICC es que no dejaba bien definido el PCS Perceptual. Cosa que se corrige en la versión 4. En el PCS Perceptual de esta última versión la imagen se transforma, consiguientemente, para tener una proximidad perceptual de acuerdo a las características del medio y entorno de referencia: los puntos blanco y negro de la imagen se normalizan a los respectivos del PCS y el resto de colores se transforman para mantener una relación de apariencia. De este modo se pueden incorporar en el perfil ICC correcciones de apariencia y otros efectos de renderización, así como las diferencias de rango dinámico que haya entre el dispositivo donde se van a visualizar o reproducir las imágenes y el propio PCS³³.

También se pueden especificar las condiciones de observación y de medio de salida para determinar la apariencia cuando se use el propósito de conversión de espacio de color de tipo colorimétrico relativo a un medio en lugar de un propósito perceptual, lo que es normalmente implementado por los fabricantes de aplicaciones de perfilado ICC.

El medio de referencia en el PCS perceptual se define como una impresión en papel con un soporte cuyo blanco es perfectamente neutro y tiene una reflectancia del 89%, o lo que es lo mismo una densidad óptica de 0,05. Ya no tenemos un blanco reflector perfecto, sino un blanco típico de los papeles fotográficos, de impresión o de los folios de alta calidad. Su rango de densidades es 2,4593 OD, por lo que su razón de contraste es aproximadamente 288:1. Sus condiciones de observación de referencia son las definidas en el estándar ISO 3664 - *Viewing conditions - for Photography and Graphic Technology*, en concreto en su condición P2: iluminación con temperatura de color D50 e intensidad de 500 lux, siendo los colores inmediatos al original neutros con un 20% de reflectancia. El punto negro tiene una reflectancia de 0,3%, esto es, una densidad óptica de 2,45 OD aproximadamente.

En las siguientes imágenes tratamos de simular la apariencia de una imagen en PCS Perceptual. Arriba su apariencia en unas condiciones próximas a las de una cabina de visualización D50 con una intensidad de luz de 500 lux, y abajo su apariencia codificada en PCS Perceptual. Son idénticas, dada la proximidad de las condiciones del PCS Peceptual a las de un entono de observación típico de Artes Gráficas.

³³ Las transformaciones que tienen en cuenta las condiciones del entorno de visualización se realizan empleando Modelos de Apariencia de Color, tal como CIECAM97.

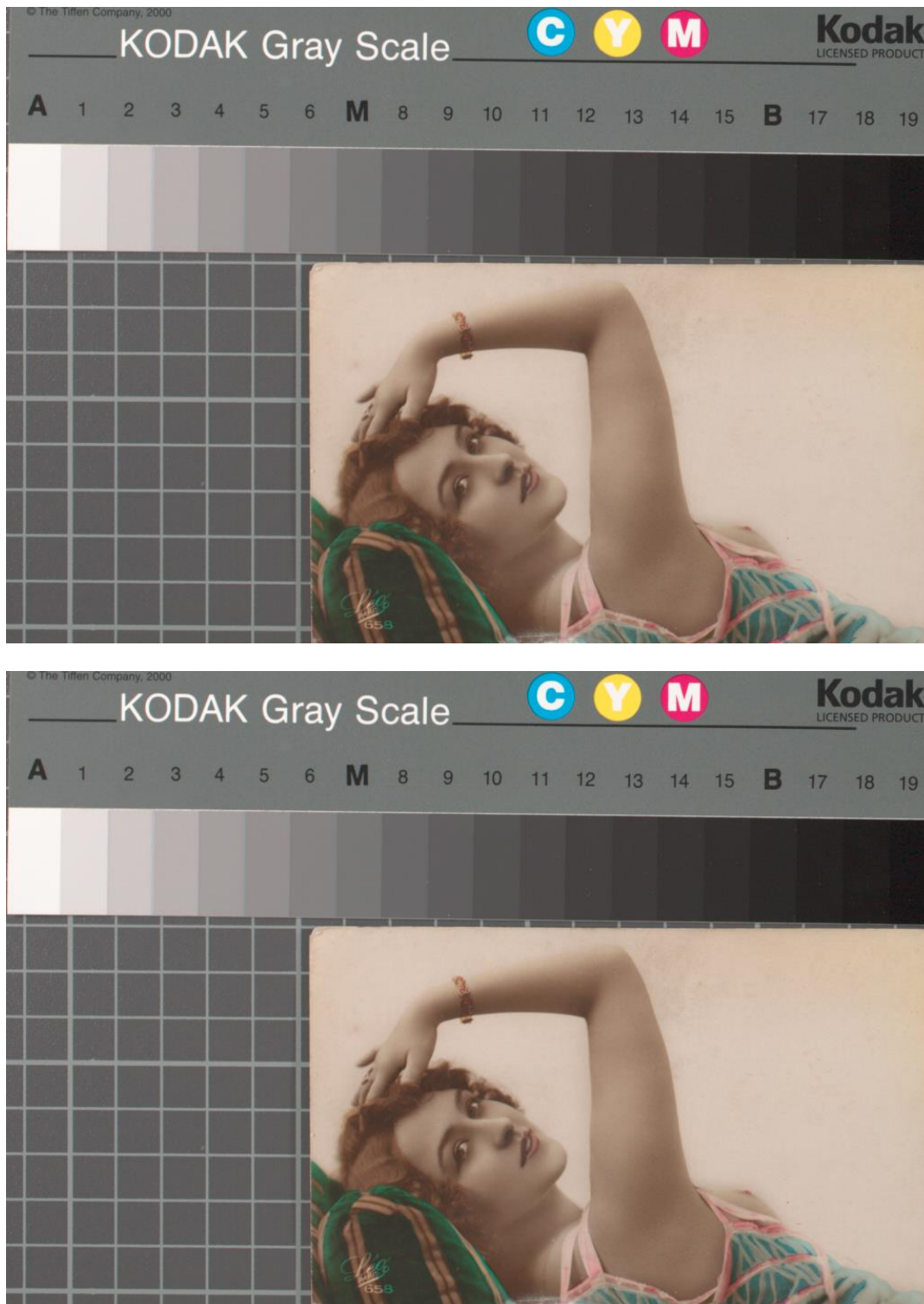


Figura 10. Simulación de la apariencia de una imagen en PCS Perceptual

Veamos con más detalle la cuestión de la renderización en la versión 4 del estándar ICC. Aquí se diferencian dos transformaciones:

- a) Transformación desde los datos de color de la imagen (RGB, normalmente en capturas digitales) al PCS.
- En el propósito de conversión Perceptual, la imagen se transforma a un espacio de color renderizado. La imagen cambia a un estado de imagen renderizado desde un estado de imagen en el espacio del sensor. Se cambian los siguientes atributos: punto blanco en temperatura de color e intensidad de luz (luminancia), punto negro en intensidad de luz y rango dinámico. Además se hace un mapeo de colores para hacerlos entrar en la gama del PCS renderizado.
 - En el propósito Colorimétrico relativo al medio no se impone transición de estado de imagen. Si la imagen está en un estado *input referred* sigue manteniéndolo en la transformación, lo mismo si está en estado *output referred*. Sólo se hace la adaptación cromática al iluminante D50, que es el estándar de iluminante por defecto de PCS para el perfil ICC, y se asume que el punto blanco es un difusor del 100% de reflectancia. Cuando se trata de un perfil ICC creado sobre la base de una carta de parches de color y grises (como una carta colorchecker® o IT8, por ejemplo), la transformación a D50 se hace desde el iluminante del espacio colorimétrico al que refieren los datos de colorimetría de los parches de la carta. En la transformación se mantienen sin cambio las relaciones entre todos los colores dentro de la gama de colores del PCS.
- b) Transformación desde el PCS hacia otro PCS o hacia los datos de la imagen.
- En el propósito de conversión Perceptual, se debe asumir que la imagen en el espacio de color PCS está renderizada de acuerdo al medio de referencia del PCS Perceptual (el marcado en el estándar ICC) y además que se dan las condiciones de visualización de referencia marcadas este PCS. Si el PCS de destino no tiene las mismas condiciones de visualización se debe adaptar la imagen, además de al nuevo medio de referencia, a las condiciones de visualización del PCS de destino.
 - En el propósito Colorimétrico Relativo no se impone transición de estado de imagen tampoco, sólo una transformación de adaptación cromática desde el iluminante D50 del PCS al iluminante del PCS de destino si se requiere y la correspondencia del punto blanco del PCS con el fondo del papel o medio de salida. Los colores fuera de gama en el PCS de destino se recortan.

Podemos, entonces, concluir que en la versión 4 del estándar de perfil ICC no se admite renderización para los PCS de los propósitos de conversión de espacio de color Colorimétrico ICC-Absoluto y Colorimétrico relativo al medio. Pero en la versión 2, que es la más usada en nuestros días, sí que se obliga a la renderización del PCS del propósito Colorimétrico relativo al medio. Además, hay fabricantes de aplicaciones de creación de perfiles ICC que aplican renderización al propósito Colorimétrico relativo al medio incluso en la versión 4. Por esta causa, hablamos de “habitualmente renderizados” cuando nos referimos a los espacios de color descritos en los perfiles de color ICC de dispositivos de captura o de espacio RGB independiente de dispositivo estandarizado.

Los propósitos de conversión de espacios de color colorimétrico relativo y perceptual son los únicos admitidos como de uso posible en este proyecto. Por ello, y más considerando que las aplicaciones de perfilado de mayor uso siguen aferradas a la versión 2, siempre asumiremos la normalización de los datos colorimétricos que proporciona el perfil ICC a un medio de referencia ante unas condiciones de percepción de referencia concretas. No se admite el propósito colorimétrico absoluto por dos razones: la primera de ellas es que este propósito no garantiza en ningún modo el que la imagen codifique ni el PCS ni en los valores RGB la colorimetría precisa del original, y menos con los procedimientos habituales de creación de perfiles ICC mediante aplicaciones comerciales o de uso libre de tipo generalista, recordemos que los valores colorimétricos del original, salvo los de los colores de las cartas de color usadas en el perfilado son resultado de interpolación o de estimación estadística; la segunda es que mediante su uso existe un riesgo importante de desvirtuar la apariencia de la imagen original y de generar recortes de tonos de luces y sombras o posterización durante el proceso de conversión de espacio de color. Ilustramos esto con el siguiente ejemplo.

En la imagen siguiente mostramos la apariencia del original captado en las mismas condiciones normalizadas ya referidas cuando se aplica un perfil de color ICC correctamente realizado y se muestra mediante el propósito colorimétrico relativo al medio en un monitor.

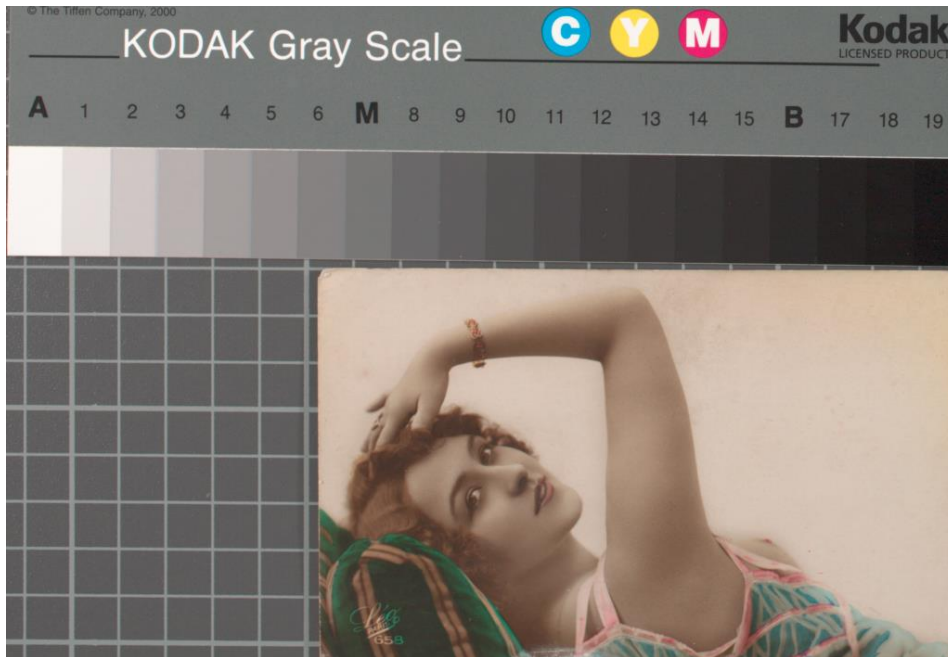


Figura 11. Simulación de apariencia en el propósito colorimétrico relativo en un monitor

A continuación, el resultado de la conversión de la imagen anterior mediante el propósito colorimétrico relativo al medio a un perfil de impresora profesional, mostrándose mediante el propósito colorimétrico relativo al medio en un monitor.

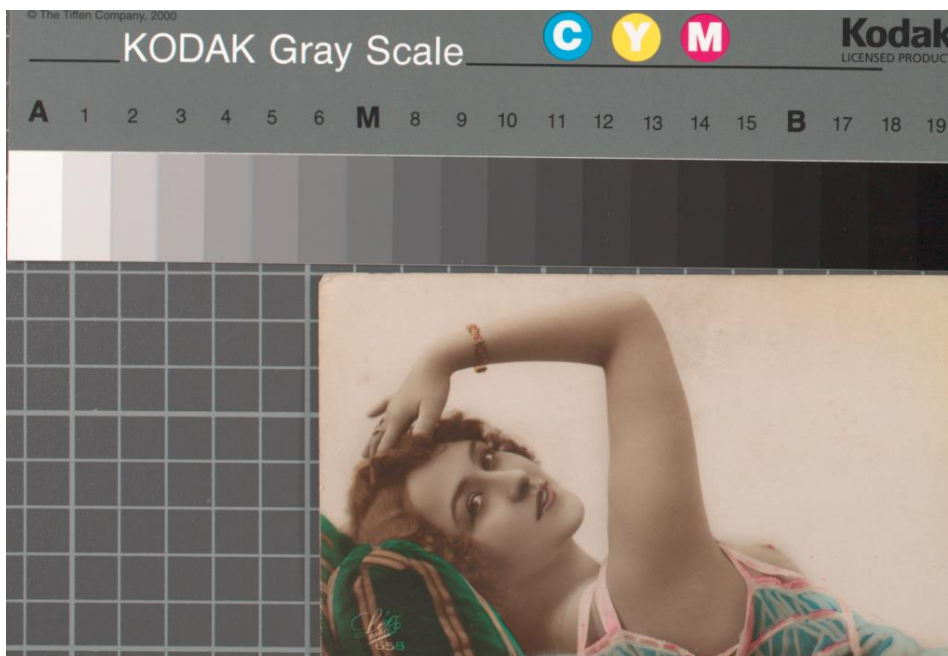


Figura 12. Simulación de apariencia en el propósito colorimétrico relativo de un perfil de impresora en prueba de monitor

A continuación, el resultado de la conversión de la imagen anterior, mediante el propósito colorimétrico absoluto a un espacio de color de imprenta profesional, mostrándose mediante el propósito colorimétrico relativo al medio en un monitor.

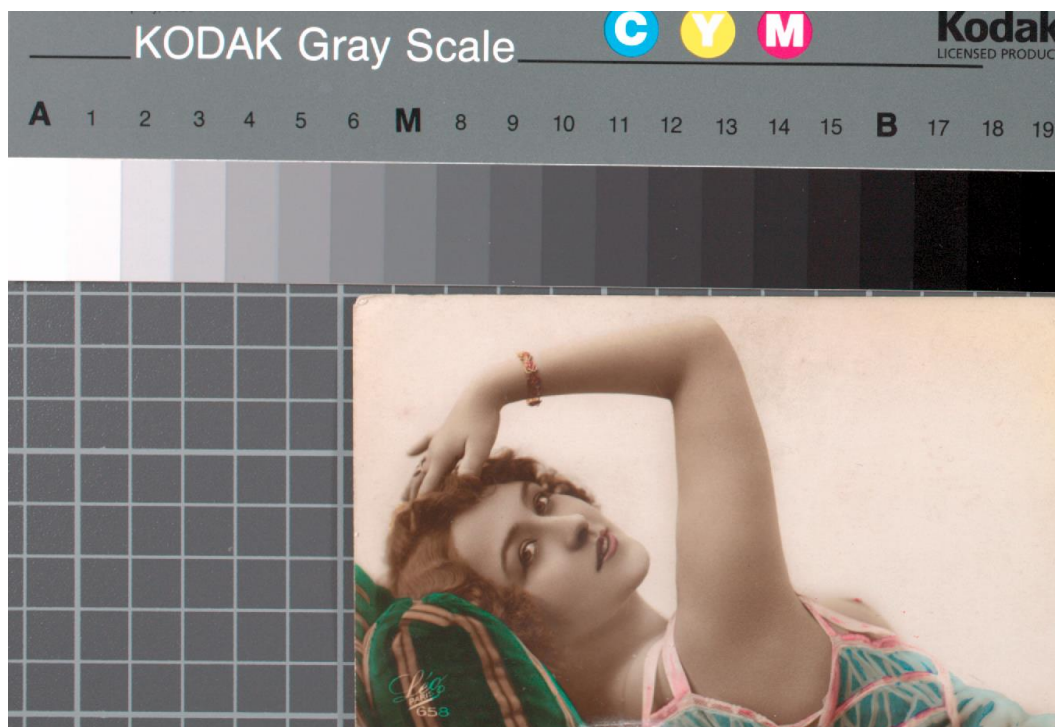


Figura 13. Simulación de apariencia en el propósito colorimétrico absoluto de un perfil de imprenta en prueba de monitor

Las distorsiones y recortes de información que provoca la colorimetría absoluta son muy aparentes, y son debidas a la diferencia de gamas de color y contraste entre los diferentes espacios de color de los diferentes medios que intervienen en el proceso: dispositivo de captura, PCS colorimétrico y monitor.

Llamamos la atención del hecho de que en la versión 4 de la especificación de perfil ICC se insiste en que la vía PCS colorimétrico no implica renderización ni en la transformación desde los datos de imagen a PCS ni en la transformación desde PCS a datos de imagen. De acuerdo a este principio, podríamos pensar que podemos tener imágenes no renderizadas en espacios de color renderizados (tales como Adobe RGB o Prophoto RGB) si en las transformaciones se usan los propósitos colorimétricos relativo al medio o absoluto. Pero esto no es así. Si atendemos a las especificaciones de este tipo de espacios de color, vemos como se aportan valores colorimétricos absolutos para los puntos blanco y negro del PCS, que son los del medio de referencia de sus PCS. Si atendemos, por ejemplo, a la especificación de Adobe RGB

(1998)³⁴, en su página 10 se indica que el valor RGB mínimo (0,0,0) corresponde con el punto negro definido, que son 0,557 cd/m² y que el valor RGB máximo (1,1,1 de acuerdo a una escala que va del 0 al 1) corresponde con el punto blanco definido, que son 160 cd/m². En la misma página se indica “The image state of the Adobe RGB (1998) color image encoding shall be output-referred [...] The CIE XYZ tristimulus values shall be those of the image as viewed on the reference display by the reference observer in the reference viewing environment.” En la página 13 de la misma especificación se indica, referido a la version 2 de la especificación de perfil ICC: “It is necessary to adapt the measured colorimetry to that appropriate for the profile connection space. These adaptations account for such differences as white point chromaticity and luminance relative to an ideal reflector, maximum density, viewing surround, viewing illuminant, and flare”, aunque esa adaptación se relega a la aplicación de gestión de color, no se realiza sobre la matriz de conversión de datos RGB a PCS del perfil ICC de Adobe RGB, como se especifica un párrafo más abajo: “No re-rendering or brightness adaptation color appearance transform is used in the conversion between Adobe RGB (1998) and the above ICC Profile Connection Space.”

2.2.4.3 Imágenes en el espacio de color del dispositivo con datos en bruto y perfil ICC específico de dispositivo

Llamamos la atención sobre el hecho de que este tipo de espacios de color no son aptos para ser usados como espacios de color de trabajo en las aplicaciones de edición de imágenes, ya que no son equilibrados en grises y perceptualmente uniformes³⁵, lo que dificulta enormemente las tareas de edición y puede dar lugar a distorsiones cromáticas y tonales importantes durante la realización de estos procesos. Por esto motivo, los másteres codificados de acuerdo a este sistema no habrán de sufrir ningún proceso de edición. Si se estima que necesariamente, y sin incumplir ninguna de las pautas de estas directrices, un máster debe ser editado, se deberá optar por otro método de codificación consistente en un espacio de color RGB independiente de dispositivo apto para la edición.

³⁴ ADOBE SYSTEMS INCORPORATED. Adobe® RGB (1998) Color Image Encoding. Version 2005-05. May 2005. Disponible en: <https://www.adobe.com/digitalimag/pdfs/AdobeRGB1998.pdf>

³⁵ Un espacio de color equilibrado en grises se caracteriza porque la representación de los tonos neutros (grises puros) tiene valores numéricos idénticos en todos sus canales de color, por ejemplo RGB = 128, 128, 128 representaría un color gris puro. Un espacio de color perceptualmente uniforme se caracteriza porque los cambios de color o tono son proporcionales a la percepción de esos cambios por un observador humano estándar. Esto es, pequeños cambios en los valores numéricos o tonales de color serán percibidos como pequeños cambios por un observador. En estos espacios se da la equidistancia entre los colores: si la diferencia entre los valores de color RGB de distintos pares de color es la misma, estos pares de color también deben poder distinguirse de igual forma a simple vista por un observador humano estándar.

Recalcamos también el hecho de que cuando se incrusta el perfil ICC de dispositivo en la imagen en bruto la renderización es virtual, puesto que los datos de imagen almacenados en los ficheros siguen estando en el espacio de color del sensor aunque, claro está, con las transformaciones que haya incluido la aplicación usada para hacer la captura de la imagen y el almacenamiento del fichero (tal como demosaicing, corrección en gamma o eliminación de defectos uniformes del modelo). Es más, si eliminamos el perfil ICC de los ficheros de las imágenes en bruto, la imagen queda completamente en el espacio de color del sensor, sin ningún tipo de ajuste de renderización. La renderización real sobre los datos se produce sólo cuando la imagen se transforma a otro espacio de color que sea renderizado. Sin embargo, no toda transformación de espacio de color implica renderización: por ejemplo, si se hace una transformación a un espacio *input referred* mediante propósito relativo colorimétrico, no se renderizan los datos.

2.2.4.3.1 Imagen lineal en bruto con perfil ICC de espacio de color de dispositivo adjunto

En estas imágenes se usa un cifrado lineal a la intensidad de luz, amparado en la supuesta respuesta lineal de los sensores de imagen. Hay una relación lineal entre intensidad de luz y valor digital en toda la gama de intensidades de luz: a cada incremento de intensidad de luz le corresponde un incremento numérico proporcional, como vemos a continuación.

Intensidad luz	1	2	3	4	5	6
Valor digital	1	2	3	4	5	6

Este cifrado es aceptable en los casos en que se puede retener gran cantidad de información y ficheros de gran tamaño, ya que se requiere una alta profundidad de bit, puesto que estas imágenes deben ser necesariamente procesadas para adaptarlas a espacios de color de edición o de dispositivos de salida que manejan una respuesta no lineal a la intensidad de luz. Por ello, es imprescindible que se almacenen a más de 8 bits por canal. De lo contrario, la imagen tras su procesado mostrará un defecto grave de bandas tonales, también denominado como posterización o error de cuantización³⁶. En profundidades superiores a los 8 bits, los bits serán

³⁶ Este defecto provoca la pérdida significativa de valores tonales adyacentes, por lo que las áreas de la imagen que presenten gradaciones tonales sutiles mostrarán

siempre ser vehiculados en 16 bits por canal, para su mayor compatibilidad con las aplicaciones de edición y visualización de imágenes, que sólo suelen admitir profundidades de 8 o 16 bits por canal de color.

Estas imágenes habrá de llevar adjunto un perfil de color ICC realizado de forma específica a partir de la captura y revelado digital también lineal de una carta de color estándar. El perfil será, consecuentemente, un perfil lineal. Si estas imágenes no llevan adjunto este perfil de color nos encontraríamos ante el caso de un sistema de codificación en el espacio de color del sensor con la información RGB de píxel reconstruida, pero sin los datos de caracterización del dispositivo, problema que impediría poder procesar correctamente las imágenes para poder obtener una codificación y reproducción próxima en apariencia a del original ante unas condiciones determinadas de percepción. Este problema impediría el cumplimiento de los objetivos marcados en estas directrices invalidando el uso de estas imágenes.

Esta forma de codificación sólo es posible en capturas con cámaras digitales con salida a formato RAW y revelados lineales, pues los fabricantes de escáneres no suelen permitir una salida lineal en bruto. Para poder revelar linealmente la imagen RAW se usará un revelador RAW que lo permita, tal como DCRAW. En esta situación, no se deberá aplicar a las imágenes, durante el revelado RAW, más procesado que:

- El balance de blancos. Procedimiento mediante el que se corrigen, mediante la aplicación de coeficientes de corrección para cada componente RGB píxel a píxel, las desviaciones que provocan que los grises no sean grises y haya dominantes de color, debido al color de la iluminación, a los objetivos de la cámara, a defectos del sensor, etc.
- Escalado a 16 bits por canal RGB desde la profundidad de bit nativa del sensor, que suele oscilar, salvo en los modelos de cámaras digitales más avanzados y de mayor coste, entre los 12 y 14 bits.
- Demosaicing. Procedimiento del que se derivan tres valores de color (RGB) de cada píxel desde el único valor digital de píxel aportado por el sistema de captura. Los algoritmos de interpolación desde las matrices de filtros tipo Bayer de los sensores de las cámaras digitales están optimizados para trabajar sobre imágenes previamente balanceadas en grises, por lo que hay que hacer el ajuste de blancos antes del demosaicing.

No siempre el sistema de procesamiento interno del dispositivo de captura corrige las no linealidades al 100%, por lo que las imágenes RAW pueden

bandas uniformes de un mismo tono que pueden llegar a distorsionar seriamente el contenido plástico de la obra captada digitalmente.

presentarse no completamente linealizadas en todo su rango tonal, teniendo este problema, usualmente, más incidencia en los tonos más oscuros, en parte porque es en esos tonos donde la señal es más baja, por lo que el ruido está magnificado.

Un problema que pueden presentar las imágenes lineales es una fuerte posterización de los tonos de sombra con magnificación del ruido cuando se aplica el perfil ICC lineal y se visualizan en un entorno con gestión de color. Este problema se explica por el mal rendimiento del perfilador ICC ante imágenes lineales. Algunos perfiladores no han sido diseñados para trabajar con imágenes lineales. En estos perfiladores el fabricante suele recomendar unos rangos de valores concretos para los parches de gris de las imágenes digitales de las cartas de color usadas para hacer el perfil de color. Una solución sería deslinealizar la imagen justo antes del perfilado mediante la aplicación de una función gamma que aproxime los valores de la carta a los del fabricante, pero perderíamos la linealidad de los másteres al tener que aplicar esta misma función a los ficheros de imagen digital resultado de la captura de las obras. Una solución mejor, si se desea mantener las imágenes máster lineales, es usar un perfilador que pueda generar perfiles de calidad sobre imágenes lineales.

Advertimos que cuando se usa un revelador que permite sacar las imágenes en bruto lineales, los reveladores no aplican funciones de corrección de ruido, pérdida de foco, aberración cromática, píxeles muertos u otros que son usuales con cámaras fotográficas digitales. Por esta causa, las imágenes lineales pueden requerir la realización de versiones renderizadas en espacios de color aptos para la edición sobre las que se apliquen ajustes que corrijan estos problemas de calidad. Los editores de imagen avanzados, tales como Adobe Photoshop®, incorporan funciones que posibilitan hacer estas correcciones de manera ágil y efectiva, pudiéndose aplicar por lotes al conjunto de imágenes provenientes de un mismo equipo y condiciones de captura y procesado.

Un peligro de esta forma de codificación es la posibilidad de obsolescencia de los perfiles ICC o de su incompatibilidad con tecnologías de otros fabricantes. Esta circunstancia impediría interpretar el significado de color de los píxeles de la imagen, teniéndose que recurrir al fichero RAW para poder procesar una imagen con gestión de color, o realizarse un nuevo perfil a partir de la imagen de la carta de color correspondiente al máster. Dada la facilidad de este segundo procedimiento y la obligación para este proyecto de mantener las imágenes de las cartas junto a los másteres no sería un problema mayor.

Una ventaja de la codificación lineal es que las imágenes másteres no necesitan la transformación de datos de representación de color de ningún tipo para poderse generar salidas con la misma apariencia del original bajo las condiciones de percepción y medio de referencia del PCS del perfil de color (si se adjunta su perfil de color ICC), por lo que no se pierde información en las transformaciones.

Las imágenes lineales ajustadas a estos requisitos no pueden ser editadas directamente, ya que los espacios de color son dependientes de dispositivos y, en consecuencia, no estarán equilibrados en grises ni serán

perceptualmente uniformes. Por estas características, los procesos de edición se hacen dificultosos y cualquier mínima transformación puede provocar un fuerte deterioro. Además, una imagen lineal sólo admite de forma eficiente y eficaz procesos de edición lineales, que no son habituales y para los que un operador requiere formarse y ganar agilidad con su uso antes de su aplicación. Cuando se necesite una edición de la imagen, se deberá generar un nuevo máster editado, mediante su conversión a un espacio de color RGB independiente de dispositivo apto para la edición y con una gama tonal y de color amplia, tal como Adobe RGB (1998) o Prophoto RGB.

2.2.4.3.2 Imagen no lineal en bruto con perfil ICC de espacio de color de dispositivo adjunto

Esta forma de codificación es no lineal con respecto a la intensidad de luz. Es típica de escáneres que no permiten una salida de datos de imagen lineal, incluso desactivando todos los ajustes tonales o de color, aportando la imagen en bruto corregida en gamma. Con este tipo de dispositivos no hay forma de obtener una imagen en bruto lineal por lo que el perfil de color ICC del dispositivo de captura se hace sobre la imagen corregida en gamma.

Son imágenes cuantizadas con ajuste de gamma (“codificación gamma” o “corrección gamma”). A la imagen se le ha aplicado un ajuste de gamma antes de la codificación a 8 bits por canal desde la profundidad de bit obtenida en la conversión analógico digital o tras su revelado o salida en fichero digital a 16 bits por canal. Podríamos definir técnicamente a estas imágenes como de contraste no constante, al serles aplicada la función gamma³⁷. Si el valor del ajuste de gamma es parejo a la respuesta del sistema visual humano a la intensidad de luz, podemos hablar de imágenes perceptualmente lineales, pese a no ser lineales a la intensidad de luz³⁸.

Mediante el ajuste de gamma se prepara la imagen para que durante la cuantización o previamente a la reducción a 8 bits por canal se seleccionen los tonos más visibles por el ojo humano, de forma que se observe el menor número de artefactos de cuantización en las zonas más oscuras de la imagen. Tras el ajuste, la imagen es reducida después a 8 bits por canal de color o canal de gris. El ajuste de gamma provoca que el resultado de la reducción de bits muestre más tonos de sombra, aunque a costa de los tonos de luz, al

³⁷ La función gamma es una función potencial que consiste básicamente en elevar el valor digital una vez normalizado a un rango entre 0 y 1 a un valor constante, denominado gamma:

$$\text{Valor digital de salida} = \text{Valor digital de entrada} ^ \gamma$$

Una vez corregido en gamma, el valor digital de salida tendrá que ser normalizado de acuerdo al rango de valores del sistema de codificación de color usado en la imagen.

³⁸ El sistema visual humano tiene una respuesta no lineal a la intensidad de luz que se aproxima a una función gamma de 1/2,2.

hacer un reparto de los bits disponibles para la cuantización que beneficia a los más oscuros. Pero el ojo humano es menos sensible a la información en las luces altas que a las de las sombras. Gracias al ajuste de gamma se puede tener imágenes correctas perceptualmente y sin sombras posterizadas con una profundidad de bit tan reducida como 8 bits por canal, por lo que se ahorra mucho espacio de almacenamiento. El ajuste de gamma al mismo tiempo se usa para compensar la respuesta no lineal de los dispositivos de visualización de imágenes, de manera que las imágenes no se reproduzcan más oscuras en estos dispositivos. Curiosamente, la respuesta tonal de algunos dispositivos de visualización es aproximadamente inversa a la del sistema visual humano, por lo que el ajuste de gamma antes de la reducción a 8 bits da solución tanto a la mejora de la selección tonal como a la compensación de la no linealidad del dispositivo.

Este es el sistema tradicional de almacenamiento de imágenes, pues maximiza la información visual almacenada en un número fijo de bits no muy alta. Nos podemos permitir almacenar a 8 bits por canal, aunque ante imágenes de documentos fotográficos no es conveniente, ya que suelen ser sometidas a procesos de edición que si se realizan a 8 bits por canal pueden dar lugar a la posterización de la imagen.

No necesariamente las imágenes se ajustan en gamma para obtener 8 bits por canal, podemos obtener imágenes corregidas en gamma a 16 bits por canal también. En este caso se conservan los 16 bits para permitir procesos futuros de edición más intensivos sin generar artefactos de cuantización. También se recomiendan 16 bits por canal ante imágenes con un rango dinámico alto, para que el exceso de bits permita registrar el rango de contraste correspondiente a la escena captada digitalmente.

En estas situaciones, no se usará el perfil ICC genérico del escáner y se hará la salida sin ningún tipo de corrección tonal o de color desde el escáner, creándose un perfil ICC ad hoc que se incrustará en la imagen. Se usará una carta IT8 cuando se usen escáneres de plataforma, y colorchecker® para escáneres planetarios. Al estar las imágenes corregidas en gamma es raro encontrar aplicaciones de perfilado que generen perfiles con problemas de posterización en sombras.

También puede conseguirse este tipo de salida desde ficheros RAW de cámaras digitales, pero sólo con reveladores que permitan una salida en bruto sin la renderización de la imagen a un espacio de color renderizado y con la posibilidad de que esa imagen sin procesar, salvo demosaicing y balance de blancos se corrija en gamma.

Al estar las imágenes corregidas en gamma puede admitirse una profundidad de bit de 8 bits por canal de color, salvo que estas directrices la prohíban para el tipo de documento concreto que va a ser capturado.

Este tipo de forma de codificación no ofrece ventajas frente al anterior, salvo la posibilidad de usar perfiladores de baja calidad que no responden bien ante imágenes lineales.

Las imágenes no lineales ajustadas a estos requisitos tampoco pueden ser editadas directamente, ya que los espacios de color son dependientes de

dispositivos y por tanto no estarán equilibrados en grises ni serán perceptualmente uniformes. Si se necesitara un proceso adicional de edición, se convertirán a un espacio de color RGB independiente de dispositivo apto para la edición.

2.2.4.4 Imagen no lineal en espacio de color RGB independiente de dispositivo

En este tipo de codificación las imágenes también están corregidas en gamma pero a su vez han sido convertidas desde el espacio de color del dispositivo o del sensor a un espacio de color RGB independiente de dispositivo estandarizado, de gama tonal y cromática amplia, de uso generalizado y apto para la edición y la impresión de imágenes. Estos espacios son usados frecuentemente como espacios de color de trabajo en las aplicaciones de edición de imágenes, ya que facilitan los trabajos de edición digital al ser equilibrados en grises y perceptualmente uniformes. Espacios que cumplen estas características y comúnmente aceptados en la digitalización de patrimonio documental o artístico son Adobe RGB (1998), EciRGB³⁹ y Prophoto RGB (ROMM RGB). No admitimos la codificación lineal de estas imágenes (equivalente a gamma = 1) porque los espacios RGB que admitimos en esta codificación están definidos para una gamma superior a 1.

³⁹ Espacio de trabajo RGB recomendado por la Iniciativa Europea de Color (ECI) como espacio de trabajo e intercambio para agencias de publicidad, editoriales, empresas de reprografía e imprentas. ISO ha normalizado el eciRGBv2 como norma ISO 22028-4 (ISO/TS 22028-4:2012). Se trata de un espacio *output referred*, esto es, renderizado, tal y como lo son el Adobe RGB o sRGB, que simulan ser espacios de color de dispositivos de visualización tipo monitores. La temperatura de color de su punto blanco es D50 (a diferencia del D65 de sRGB y Adobe RGB), la intensidad de su punto blanco es 160 cd/m², la de su punto negro 0,5 cd/m² y su gamma es 1.8 (a diferencia del en torno a 2.2 de Adobe RGB y sRGB), para acoplarse así mejor a las necesidades de los medios de salida de las Artes Gráficas. Admite profundidades de bit de 8, 16 y 32 bits (para punto flotante). No obstante, también se admite una versión lineal de este espacio. Su referencia está disponible en <http://www.color.org/ecirgb.pdf>. El perfil ICC se puede descargar de la Web. El gamut del eciRGB coincide más o menos con la del Adobe RGB, y está adaptada a tipos de medios de salida de Artes Gráficas por lo que no consideramos que pueda suplir al espacio Adobe RGB o a otros de mayor gamut. La característica más interesante de este espacio de color es que su escala tonal es perceptual. Esto implica que la escala de valores neutros RGB (en los que los valores numéricos de los tres canales RGB son idénticos) se correlaciona con la escala de luminosidades del espacio de color CIELAB (el canal L), de tal forma que el gris medio (la sensación de brillo que tendría un observador humano estándar ante una reflectancia o transmitancia aproximada del 18%, coincidente con un valor L de CIELAB de 50 en su escala 0 a 100) se ubica en los valores RGB = 128. Esta peculiaridad no está presente en otros espacios RGB independientes de dispositivo. Por ejemplo, en Adobe RGB el gris medio se ubica en RGB = 118; En ROMM RGB en RGB = 100; En sRGB en RGB = 118; En RIMM RGB lineal en RGB = 47; En RIMM RGB no lineal, en RGB = 109.

Podrían crearse fácilmente versiones lineales de estos espacios que funcionarían correctamente en los procedimientos de gestión de color, pero estaríamos saliéndonos parcialmente de los estándares respectivos y del uso común que se hace de estos espacios, lo que podría llegar a algún problema de incompatibilidad o errores de procesamiento o de reproducción en el futuro.

Los espacios de color de este tipo son renderizados y se basan en la colorimetría de características de dispositivos virtuales. Normalmente simulan monitores para visualización de imágenes de gran calidad y gama cromática amplia.

En la conversión de espacios de color, las transformaciones son específicas de cada imagen y no reversibles, ya que parte de la información contenida en los datos de la imagen de la escena o documento a capturar es descartada o comprimida para que se ajuste a la gamma y al rango dinámico del resultado (se entiende la impresora o monitor o espacio de color de trabajo de un editor de imagen). Por lo que siempre hay un riesgo implícito de pérdida de información que ha podido ser correctamente registrada durante la captura. Además, si la conversión ha sido realizada incorrectamente o el perfil del dispositivo era defectuoso, se perderá irremediablemente información esencial de la imagen.

Esta forma de codificación, sin embargo, es muy práctica, porque los másteres están listos para su edición digital (si se precisa y no va en contra de estas directrices), visualización e impresión, no requiriéndose ninguna transformación previa para la realización de estos procesos. Asimismo hemos de considerar que al ser estos espacios de color estandarizados, incluso perdiéndose el perfil ICC o quedándose obsoleto sería posible descodificar la información tonal y cromática de las imágenes, si se conoce el dato del espacio de color de la imagen y se puede acceder a la especificación técnica del espacio de color.

Se admitirá esta forma de codificación, tanto para imágenes a 8 bits por canal como para imágenes a 16 bits por canal, siempre y cuando se cumplan estos requisitos:

- El espacio de color de destino será equilibrado en grises, perceptualmente uniforme y de amplia gama. Recomendamos: EciRGB, Prophoto RGB (ROMM) o Adobe RGB. No se admitirá en ningún caso para la imagen máster el espacio sRGB, dada su escasa gama de colores.
- Se use el propósito de conversión colorimétrico relativo al medio con compensación de punto negro⁴⁰ activada, o perceptual. Se admitirá el

⁴⁰ La compensación de punto negro permite que mediante el propósito colorimétrico relativo al medio se pueda conseguir meter el rango dinámico de la imagen inicial en el rango dinámico del espacio de color de destino, ya que de esta manera tanto el punto blanco como el punto negro se adaptan a los de destino. Así se evita el riesgo

propósito perceptual si está incluido este propósito en el perfil ICC y el resultado aporta la misma fidelidad y calidad en la conversión que el propósito colorimétrico relativo al medio.

- Se haga un control básico de calidad del perfil de color ICC de dispositivo que permita garantizar que no se va a perder información tonal o cromática durante el proceso de conversión o a desvirtuar la apariencia de la captura en el proceso de conversión. También se comprobará que no se generan defectos que son muy frecuentes con perfiles de color de mala calidad, tales como posterización, distorsión de color, alteración de contraste o recortes tonales.

2.2.4.4.1 Flujo de trabajo para capturas con cámara digital con salida a ficheros RAW

Existen diferentes posibilidades de flujo de trabajo con las imágenes en formato RAW para conseguir imágenes finales en un espacio de color RGB independiente de dispositivo. Cualquier opción se admite, siempre y cuando se garanticen los niveles de fidelidad de color y tono establecidos en los requisitos de calidad de estas directrices.

- 1) Gestión de color genérica. Consiste en revelar la imagen RAW con un perfil de revelado RAW de cámara genérico que no sea un perfil DNG creado *ad hoc*, si se usa el programa Adobe Camera RAW. En este flujo de trabajo, la transformación al espacio de color final (Adobe RGB, Prophoto...) se hace a partir de las matrices de conversión a XYZ genéricas de DNG, si se usa este formato, u otras creadas *ad hoc* a partir de los metadatos de caracterización que lleve el fichero RAW, junto con los ajustes tonales y cromáticos de configuración del revelado que permite el revelador RAW. El resultado en fidelidad de color no suele ser bueno, requiriéndose generalmente procesos intensivos de edición a posteriori. Este suele ser el procedimiento empleado más habitualmente cuando se usa como revelador el programa Adobe Camera RAW, debido a su facilidad de uso y rapidez. Los ajustes tonales, cromáticos y la corrección de defectos de captura (aberración cromática, pérdida de nitidez...) que permite esta aplicación, correctamente realizados, pueden llegar a mitigar defectos y mejorar la fidelidad de color, aunque para su configuración se

de que en la conversión de espacios de color se recorten las zonas de sombras cuando la gama tonal de destino es inferior a la de origen.

suelen requerir varias pruebas y contar con personal muy experimentado, lo que provoca pérdida de eficiencia en los procedimientos de trabajo.

- 2) Hacer la conversión usando un perfil de cámara DNG (dcp) con el programa Adobe Camera RAW. El perfil se realiza con una carta de color colorchecker® y una aplicación específica, tal como Profiler Editor de Adobe o la herramienta de X-rite que se adjunta a las cartas colorchecker Passport®. Los formatos RAW nativos de las cámaras digitales deben ser convertidos previamente a DNG. Una vez hecho el perfil dcp se instala y se configura ACR para que lo use durante el revelado. Se usan las matrices de conversión específicas del perfil creadas durante el perfilado para pasar la imagen al espacio de color de salida. El proceso puede ser refinado mediante el uso de curvas tonales personalizadas, para aproximar más la fidelidad de color y tono en la imagen revelada.
- 3) Usar un perfil ICC. Este procedimiento sólo es efectivo si se usa un revelador que permita obtener las imágenes en bruto sin que se las haya sometido a un proceso previo de renderización de acuerdo a un espacio de color de salida concreto. Un revelado en bruto con un revelador como DCRAW, por ejemplo, sería adecuado. Sobre la imagen en bruto ya revelada de la carta de color se crea un perfil ICC que se puede aplicar a las imágenes de las capturas ya reveladas también en bruto y por el mismo procedimiento que la imagen de la carta de perfilado. Al añadir perfil la imagen estará en el espacio de color representado en el perfil ad hoc. Hemos de recordar que asignar un perfil de color a una imagen deriva, virtud a la gestión de color, en un proceso de renderización. Si se crea un perfil ICC sobre una imagen ya previamente renderizada, por ejemplo, tras su revelado con Adobe Camera RAW, se están aplicando dos procesos consecutivos de renderización, que pueden derivar en distorsiones importantes de color y en posterización grave.

2.2.4.4.2 Flujo de salida con un escáner

Cuando se usa un escáner profesional, las aplicaciones de captura suelen permitir varias opciones de gestión de color. Una de ellas es utilizar el perfil ICC genérico del escáner para hacer la conversión de la imagen de salida a un espacio de color RGB independiente de dispositivo idóneo para la edición de las imágenes. Esta opción no suele dar buenos resultados en fidelidad de color y tono. Otra opción es generar una salida lo más en bruto posible sin ningún tipo de corrección tonal o de color desde el escáner, salvo el ajuste de gamma por defecto. Esta es la mejor opción para poder crear un perfil ICC ad

hoc que se usará para transformar la imagen al espacio de color RGB independiente de dispositivo de salida elegido. Por tanto, será la opción preferida en estas directrices. Para ello se usará una carta IT8 en el caso de escáneres de plataforma y colorchecker® para escáneres planetarios.

2.2.5 Codificación RGB en estado de imagen input referred en el espacio de color RIMM RGB

Estas imágenes se suelen obtener mediante el procesado de ficheros en formato RAW de cámaras digitales. El procesado que se aplica a los datos en bruto es básico, y es realizado en parte por el propio firmware del dispositivo de captura y la aplicación usada para revelar el fichero RAW. Consiste, generalmente, en la corrección por firmware de la cámara de defectos inherentes al dispositivo (falta de linealidad, píxeles muertos, *aliasing* en altas frecuencias espaciales, etc.), el ajuste de blancos, el demosaicing (reconstrucción de los valores RGB de cada píxel), la corrección de destellos, la linealización de la imagen (en su caso) y la conversión a un espacio de color *input referred* con la ayuda de datos de caracterización espectral específicos del dispositivo o de datos de caracterización genéricos obtenidos por el revelador RAW.

También es posible conseguir imágenes en este estado desde imágenes multiespectrales, pero dado el alto costo y dificultad para conseguir este tipo de imágenes y procesarlas para obtener su representación en un espacio de color no renderizado, no lo contemplamos como alternativa en este proyecto⁴¹.

Para estas imágenes se admite sólo el espacio de color estándar RIMM RGB, que ha sido diseñado originalmente para representar imágenes en estado *scened referred*. Se admitirá ambas opciones de codificación del estándar: lineal y no lineal, debiendo tener la imagen necesariamente una profundidad de bit de 16 bits por canal si se opta por la codificación lineal⁴².

Si se opta por este estado para los másteres, las diferentes funciones a que debe hacer frente la digitalización patrimonial imponen la necesidad de crear versiones complementarias en un estado renderizado. Recordemos que las imágenes en estado no renderizado no son aptas para ser visualizadas o impresas y que requieren su renderización para su ajuste a la visualización en monitor o en impresora. El procesado de renderización puede resultar en

⁴¹ Una vez conseguidos los datos espectrales de cada píxel, con los datos espectrales de la fuente de luz que ilumina la obra a capturar, los datos de sensibilidad espectral del dispositivo (la caracterización espectral del dispositivo) y su curva OECF (*Opto Electronic Conversion Function*) se puede calcular la transformación necesaria para un espacio *input referred* estándar determinado.

⁴² Con una alta profundidad de bit evitamos que se produzcan errores de cuantización cuando se ajuste la imagen a la gamma de un espacio de color renderizado.

una sobrecarga adicional en tiempo de trabajo y recursos si no se consigue automatizar completamente. Deberán ser sopesadas suficientemente las ventajas de tener las imágenes en este estado frente a las desventajas, dado el alto coste que puede acarrear si el número de capturas es alto.

La renderización no siempre es fácil de automatizar obteniendo unos resultados que garanticen fidelidad de color y contraste. En este sentido, hay que ser especialmente cautos con el uso del espacio de color RIMM RGB como espacio para las imágenes másteres de capturas digitales de documentos u otras obras. El motivo es que RIMM RGB es un espacio diseñado para contener imágenes de escenas de exterior obtenidas con cámaras digitales (recordemos que es *scened referred*). En estas imágenes se asumen unas condiciones de iluminación del entorno donde se ubica la vista captada caracterizadas por una alta intensidad de luz y un amplio rango de contraste. Estas condiciones de iluminación no son las habituales en la captura u observación de documentos u obras habitualmente contempladas en interiores, donde se aplican valores de iluminación mucho más bajos. Ante una divergencia de condiciones de observación tan marcada, el proceso de renderización automatizado (que puede hacerse a través del propio perfil ICC RIMM RGB estandarizado eligiendo el propósito de conversión perceptual durante la conversión al espacio renderizado de salida) provocará desajustes importantes en la apariencia del documento, con un fuerte aumento del contraste general de la imagen y del brillo de las áreas de luces. Para evitar este defecto, el proceso de renderización se tendría que hacer manualmente, mediante edición digital de la imagen, una vez convertida al espacio de color RGB renderizado mediante un propósito de conversión colorimétrico relativo. Este proceso exigirá un trabajo de edición, intensivo en tiempo y habilidades de operador, que debe tomar como referencia no solo las cartas de control capturadas junto al documento sino también el propio objeto original capturado. El flujo de trabajo no renderizado sobre la base del espacio estandarizado RIMM RGB puede ser idóneo para imágenes tomadas del natural, pero no para las imágenes de las digitalizaciones de objetos capturados con unas condiciones de iluminación propias de interiores.

En la siguiente imagen ejemplificamos este inconveniente del espacio RIMM RGB. Se ha hecho sobre la captura digital de una obra fotográfica mediante cámara fotográfica digital en unas condiciones de captura completamente controladas y típicas de interior. Arriba mostramos la reconstrucción de la apariencia de la captura en espacio RIMM RGB cuando se visualiza sin renderizar en un monitor con una aplicación que no hace gestión de color, justo debajo la reconstrucción de la visualización tal cual con gestión de color, más abajo la simulación del resultado de un renderizado correcto con gestión de color en un monitor con una gama de colores y de contraste amplia, y más abajo la simulación del resultado de un renderizado automatizado desde el propio perfil RIMM RGB con gestión de color.



Figura 14. Imagen no renderizada en el espacio de color RIMM RGB cuando se visualiza sin gestión de color en un monitor. Ofrece la apariencia típica de una imagen lineal, cuando se visualiza en un monitor con gamma aproximada de 2,2, no sometida a ningún procedimiento de ajuste para su reproducción o visualización en un medio concreto. Al no aplicar gestión de color estaríamos en un estado de imagen muy próximo al del sensor, tras un procesado de balance de blancos, demosaicing y eliminación de defectos básicos de registro de imagen. La curva gamma 2,2 que aplica el monitor por defecto implica un decremento de importante luminosidad, que provoca el que una imagen lineal se perciba muy oscura y sin contraste



Figura 15. Imagen no renderizada en el espacio de color RIMM RGB cuando se visualiza mediante gestión de color en un monitor con gamma aproximada de 2,2. La imagen ha sido deslinealizada durante el proceso de gestión de color con una corrección gamma inferior a la gamma del monitor, de ahí su menor brillo. Como no ha ido ajustada a ningún medio de salida se muestra

pobre en brillo, contraste y saturación de color cuando se visualiza en el monitor sobre el que se ha hecho esta prueba



Figura 16. Imagen renderizada correctamente en el espacio de color Adobe RGB y visualizada en un monitor de amplia gama de colores con gamma 2,2 y con aplicación de gestión de color. Su visualización es muy próxima a la apariencia del original en unas condiciones de visualización de interior, próximas a las definidas en el PCS del espacio de color RGB de destino: la percepción del contraste, brillo y saturación de los colores es muy próxima a la que podemos tener cuando observamos la fotografía original en unas condiciones de entorno de luz y color típicas de interior, con una luz ambiental neutra y de poca intensidad, y con nula incidencia de reflejos o colores saturados en el campo visual. El perfil ICC específico del monitor, además de la calibración de éste para unas condiciones de intensidad de punto blanco y negro, cromaticidad de punto blanco, gama de colores y contraste próxima al espacio Adobe RGB, ayuda mucho a una visualización muy fiel a la percepción del original con la configuración del entorno ya mencionada



Figura 17. Imagen renderizada incorrectamente en Adobe RGB, mediante el uso del propósito perceptual del perfil ICC RIMM RGB y visualizada con el mismo monitor de la imagen anterior y con gestión de color. Su visualización es incorrecta, ya que este propósito asume unas condiciones de observación de una escena de exterior. Los colores aparecen, consiguientemente, muy saturados, y la imagen con un contraste excesivo y un fuerte brillo en el rango tonal que va desde los medios tonos a las altas luces. Las luces más altas aparecen incluso recortadas. La gestión de color ha simulado la apariencia de la imagen original con unas condiciones de contemplación propias de una escena de exteriores, con una alta intensidad de luz sobre el documento captado

En la siguiente imagen mostramos el resultado de convertir a RIMM RGB la captura RAW de una escena de exteriores tomada con una cámara fotográfica digital. Podemos apreciar como el proceso de renderización automático que podemos hacer desde el perfil RIMM RGB mediante el propósito perceptual es correcto.



Figura 18. Imagen no renderizada lineal en el espacio de color RIMM RGB cuando se visualiza sin gestión de color en un monitor con gamma 2,2



Figura 19. Imagen no renderizada lineal en el espacio de color RIMM RGB cuando se visualiza mediante gestión de color en un monitor similar al anterior



Figura 20. Imagen renderizada correctamente en Adobe RGB, mediante el uso del propósito perceptual del perfil ICC RIMM RGB. Su visualización es correcta, y acorde a la percepción visual de la escena, en un monitor similar al anterior con gestión de color



Figura 21. Imagen renderizada por el propio fotógrafo para simular la sensación perceptiva visual de la vista original. Vista con gestión de color en un monitor similar al anterior

La ventaja de la codificación relativa a escena es obvia: mayor rango dinámico aprovechándose todo el rango dinámico de la cámara digital, mayor información tonal y de color, y mayor flexibilidad para otros usos de la imagen y para su visualización en otros dispositivos. No obstante, los inconvenientes señalados nos llevan a optar como sistema preferido un modelo de codificación basado en la renderización de la imagen sobre los datos en bruto.

El costo de consecución y aplicación de la tecnología necesaria para aplicar el estado no renderizado es bajo, habiendo múltiples dispositivos y software de amplia comercialización disponibles en el mercado y siendo los procesados muy rápidos para personal experimentado. En las páginas del ICC se puede encontrar descrito un flujo de trabajo para poder obtener imágenes *scened referred* en espacio RIMM RGB usando el conocido revelador RAW Adobe Camera RAW®⁴³. Este flujo de trabajo es idóneo, aunque utiliza el perfil estándar del revelador RAW en lugar de un perfil específico de la cámara, lo que puede derivar en una merma de calidad en el color final cuando se usa en aplicaciones donde la precisión del color es crítica.

2.2.6 Codificación RAW. En el espacio de color del sensor de imagen del dispositivo

Denominamos a esta forma de codificación como codificación RAW ya que es la habitual de este formato de imagen. La codificación RAW no se admitirá como única, ya que estas imágenes tienen que ser procesadas para su visualización o reproducción, para lo que se necesitan datos de caracterización del dispositivo de captura de los que generalmente no se dispone hasta que se aplica la gestión de color durante su procesado. Esta circunstancia implica un alto riesgo para el procesado correcto futuro y para la preservación digital de las imágenes, ya que los formatos RAW tienen un ciclo de obsolescencia muy corto, habiendo dificultad para su reconocimiento por los reveladores RAW en unos pocos años desde la aparición de la versión del formato usada.

No parece tampoco adecuado forzar al usuario de la imagen a que haga un revelado RAW correcto ante cada acto de visualización o reproducción, más cuando el revelado lleva aparejada la aplicación de procedimientos de gestión de color que requieren ciertos conocimientos técnicos.

Se admitirá la conservación del fichero RAW obtenido directamente de la cámara pero bajo estos requisitos:

⁴³ ICC. *Creating scene-referred images using Photoshop® CS3*. Disponible en: <http://www.color.org/scene-referred.xalter> ; *Overview of scene analysis and color rendering controls in Adobe Photoshop® CS3 Camera Raw*. Disponible en: http://www.color.org/scene_analysis_and_rendering.xalter.

1. Se tendrá que hacer una versión máster en un formato y sistema de codificación autorizado en estas directrices.
2. El fichero RAW para su mejor preservación deberá ser transformado al formato DNG, preferiblemente con el propio fichero RAW original incrustado. No se admitirá la compresión con pérdida en el DNG. Esta transformación puede hacerse fácil y automáticamente por lotes desde aplicaciones gratuitas, como Adobe DNG Converter.

Ante el aumento significativo del coste de almacenamiento, preservación digital y gestión que entraña la conservación de los ficheros RAW en las capturas con cámara digital, esta decisión recaerá en los responsables del proyecto, quienes considerarán para cada grupo de obras a capturar factores como el volumen de imágenes, la riqueza tonal de los originales o la previsión de futuros cambios en el criterio de renderización de las imágenes.

El costo de consecución y aplicación de la tecnología necesaria para aplicar este sistema es bajo, habiendo múltiples dispositivos y software de amplia comercialización disponibles en el mercado y siendo los procesados muy rápidos para personal experimentado.

2.2.7 Codificación HDR

Estamos también ante un método de codificación *input/scened referred*, que hemos individualizado debido a sus características especiales de obtención de imágenes y de codificación. A diferencia de las imágenes renderizadas, los valores de luminancia de este tipo de imágenes no están referidos a un tipo de medio de salida de referencia concreto, cuyo rango dinámico siempre es limitado, sino a la propia escena captada. Los sistemas HDR codifican la información de luminancia con una alta cantidad de bits y métodos de representación numérica de números reales en coma flotante con rangos muy elevados, de miles de millones, lo que les habilita para registrar razones de contraste prácticamente ilimitadas, mucho más allá de la capacidad en rango dinámico de cualquier dispositivo de captura o reproducción de imágenes, e incluso de la capacidad de la visión humana⁴⁴.

⁴⁴ La capacidad de la visión humana para percibir un rango de contraste en una escena es realmente alta, dada su capacidad de adaptación a los cambios de intensidad de luz, se estima de 10.000:1, que equivaldría a un margen de densidades de 4 OD. Este rango de contraste es típico de escenas de la vida real muy contrastadas, como, por ejemplo, una vista del exterior, durante el día, mostrando cielo despejado y nubes, tomada desde el interior de una habitación que muestra asimismo parte del interior no expuesto a la luz. Cuando se perciben los valores más oscuros o más claros visibles de forma aislada el rango de contraste de la visión humana sana es mucho más elevado, se acerca a 100.000.000:1.

HDR es la sigla que denota Alto Rango Dinámico (*High Dynamic Range*). Las imágenes HDR consisten en la fusión en una única imagen digital de varias capturas tomadas con diferentes valores de exposición, incrementándose así el rango dinámico en dispositivos de captura que permiten variar el nivel de exposición óptica —la cantidad de luz que incide sobre el sensor— durante la toma de la imagen (Robledano, 2011). Se trata ya de una tecnología lo suficientemente madura y con varios productos comerciales o de uso libre de gran calidad, siendo una alternativa muy interesante cuando no se disponen de cámaras fotográficas digitales con el rango dinámico suficiente como para capturar con calidad determinados originales.

Como decimos, la captura HDR consiste en realizar diferentes imágenes de la escena o documento a digitalizar. Cada imagen se realiza con un valor de exposición distinto, de forma que se asegure que cualquier nivel de intensidad de luz de la captura quede registrado con calidad suficiente al menos en alguna de ellas. A partir de este conjunto de imágenes se calcula una nueva y única imagen con un rango dinámico muy amplio, que es almacenada en el fichero máster HDR. Su profundidad de bit puede llegar a ser muy alta, como en el caso del TIFF de coma flotante, hasta 96 bits (32 bits por canal de color).

Las imágenes HDR representadas en estos ficheros no son visibles directamente en monitores o dispositivos de reproducción convencionales. Esto se explica por su limitada razón de contraste y gama de colores, por lo que es necesario emplear lo que se denomina como métodos de compresión de luminancias o de mapeo tonal (*tone mapping*) y de mapeo de gama (*gamut mapping*). Tras este procesamiento las imágenes son codificadas con un sistema convencional para su visualización e impresión, con una profundidad de bit de 16 u 8 bits por canal. A estas versiones mapeadas se les denomina como LDR (*Low Dynamic Range*). En el proceso de mapeo es cuando se selecciona del total de tonos de luz y color captados y registrados en la imagen HDR aquellos que van a ser incluidos en la imagen mapeada LDR, de manera que la imagen pueda ser codificada, visualizada o reproducida con una apariencia determinada dentro de los límites de rango dinámico y gama de color del espacio de color o grises de destino (Robledano, 2011).

Hemos de ser conscientes de que cuando se hace el mapeo de una imagen HDR con un alto rango de contraste se produce una compresión de rango dinámico que puede llegar a ser fuerte. Por ejemplo, si tuviéramos la imagen HDR de la digitalización de una diapositiva de una escena de muy alto contraste podríamos tener fácilmente una razón de contraste de 1000:1 junto a una escala tonal muy rica en detalles en tonos intermedios. El mapeo de la gama tonal puede hacer perder parte de la riqueza de tonos intermedios para poder mantener con detalle la información en las zonas de altas luces y en las de sombras más densas. Asimismo, el proceso de renderización de la imagen LDR puede provocar también el recorte de las zonas de altas luces que se sitúan por encima del rango dinámico del espacio de color renderizado de salida. Por ello se aconseja en una captura patrimonial conservar la versión HDR, que presentará toda la información tonal y de color sin ningún tipo de recortes.

Dado el alto coste en tiempo y necesidades de almacenamiento que acarrea la captura y codificación HDR, sólo se podrá aplicar este sistema en el proyecto a casos críticos de conjuntos reducidos de obras que requieran de unos valores altos de rango dinámico en el dispositivo de captura y que superen la capacidad en rango dinámico de los dispositivos disponibles. Los requisitos para su aplicación serán:

1. Se deberá conservar tanto la imagen HDR, que será la imagen máster, como la imagen LDR resultado del mapeo de la imagen HDR.
2. La imagen LDR será considerada como submáster, y será codificada en el espacio de color Adobe RGB o Prophoto RGB con su perfil de color incrustado. Su profundidad de bit será de 16 bits por canal RGB.
3. Se harán pruebas previas dirigidas a reducir en lo posible el número de capturas a diferentes exposiciones que son necesarias para obtener imágenes de calidad y conseguir un flujo de trabajo con gestión de color eficiente, tanto para la generación de la imagen HDR como del submáster convencional.
4. Para mantener todo el margen de densidades de la obra a capturar se usarán los ficheros RAW para generar la imagen HDR.
5. Se mantendrá la resolución espacial del máster HDR en la imagen LDR.
6. La imagen HDR se creará en el modo 32 bits por canal. Su espacio de color será RGB lineal⁴⁵.
7. Para el almacenamiento de la versión HDR se usará el formato TIFF de coma flotante conservando la profundidad total de bits de 96 bits (32 bits por canal)⁴⁶. No se aplicará compresión de ningún tipo.

⁴⁵ Si la imagen HDR se genera desde Adobe Photoshop® con 32 bits por canal sobre imágenes en origen con formato RAW, el resultado será una imagen codificada en Prophoto RGB lineal. A pesar de estar codificada en este espacio de color su información está referida a la escena, esto es, no renderizada. Si se usa esta aplicación se respetará la salida en este espacio de color, sin realizar ninguna conversión. Cuando se genera la versión LDR sobre esta imagen desde este mismo editor, la imagen se renderiza al espacio de color indicado como espacio de trabajo en los ajustes de color.

⁴⁶ Esta forma de codificación para el almacenamiento de la imagen HDR se traduce en archivos de mayor volumen, pero es una válvula de seguridad de cara a la preservación digital dada su alta compatibilidad. Los ficheros TIFF en coma flotante codifican la información en RGB codificado con 32 bits de acuerdo al estándar de coma flotante en simple precisión de IEEE (IEEE 754). Esta forma de codificación cubre casi 79 órdenes de magnitud en la representación de luminancias, con una muy elevada precisión. No obstante, la capacidad del ojo humano para percibir un rango de luminancias se ubica en 8 órdenes de magnitud, por lo que ha sido criticado, ya que hay formas de codificación HDR también abiertas que requieren menos bits, pueden ser comprimidos de forma eficaz, y permiten contener el rango abarcado por la visión humana, como la codificación en TIFF LogLuv (con versiones

8. Para el mapeo tonal a la imagen LDR se usarán métodos que garanticen la máxima fidelidad en color y tono, sin generar recortes tonales en luces o sombras, tal como Exposición y gamma.

El costo de consecución y aplicación de la tecnología necesaria para aplicar este sistema es medio. Hay múltiples dispositivos y aplicaciones software disponibles en el mercado, incluso de código abierto y de uso libre. Pero los procesados son lentos incluso para personal experimentado. Además, se necesita una alta capacidad de almacenamiento dado el gran tamaño que adquieren los ficheros en formato HDR. Los ficheros mapeados a 8 bits por canal, sin embargo tienen un tamaño reducido, salvo que sean capturadas las imágenes a una alta resolución espacial de captura y se conserve en la versión mapeada ese valor.

2.2.8 Codificación multiespectral

El Sistema de captura digital convencional basado en el modo de color RGB ha sido especialmente ideado para las Artes Gráficas o la Fotografía profesional. Este sistema puede ser muy eficiente para la captura y representación digital de algunos originales, como son las fotografías en color modernas, pero no para muchas expresiones artísticas y documentos con valor patrimonial en los que se usan tintas o pigmentos de diversos colores. El sistema RGB no suele dar una alta precisión en la representación de color en estos casos, incluso aplicando sistemas de gestión de color, por lo que para aproximar la apariencia de muchos de los colores es preciso aplicar procesos de edición intensivos de la imagen digital resultante de la captura que difícilmente llegan a afinar la precisión de color en su totalidad. Este problema se debe fundamentalmente a la limitada de sensibilidad espectral en las cámaras y escáneres que captura en RGB para los espectros de color de muchos medios y soportes.

Otro inconveniente es que el sistema RGB aporta un registro limitado del color, pues sólo capta la intensidad de luz en tres bandas espectrales: las correspondientes a lo que comúnmente solemos denominar como Rojo, Verde y Azul; cuando el espectro de radiación electromagnética que subyace en el color es mucho más amplio. Por ello, las imágenes digitales convencionales representadas en sistema de color RGB carecen de

para 24 bits y 32 bits en total) o OpenEXR (soporta 16 bits por canal, pero no admite perfiles de color incrustados). Consideramos que el uso de HDR será circunstancial en este proyecto, motivo por el que no debería suponer un aumento significativo en la masa de ficheros total el uso de TIFF de coma flotante. También hemos de considerar que es un formato rápido para operaciones de lectura y escritura, por lo que los flujos de trabajo pueden ser optimizados en tiempo, y que no admitimos compresión en los ficheros máster.

información suficiente para hacer buenas reproducciones o para conocer las características de los originales en la realización de estudios sistemáticos.

Otro problema añadido para la obtención fiel del color es el modelo de trabajo de la industria de equipamientos de captura digital de alto consumo, cuyos productos son habitualmente usados en proyectos de digitalización. Esta industria trata de ofrecer software y equipamiento de uso sencillo que aporte unos resultados aceptables a nivel plástico para el usuario medio, sin preocuparse por que esos equipos puedan generar imágenes con el grado de precisión cromática y tonal que se requiere en capturas digitales de patrimonio artístico y documental. La investigación sobre este tipo de limitaciones para el mundo del patrimonio cultural es amplia, y suele destacar las debilidades de los dispositivos de captura, caracterización de dispositivos y procedimientos de trabajo⁴⁷.

La solución a estos problemas está viniendo de la mano de la aplicación de sistemas de captura y registro de imágenes multispectrales, que consisten en el registro de más bandas que las tres RGB típicas, generalmente entre cinco y veinte canales. Los canales corresponden a varias bandas del espectro electromagnético visible, incluyendo también frecuentemente varias bandas dentro de los rangos de luz UV e IR cercano. Estamos ante una forma de codificación *Input o scened referred*, aunque, dada su peculiaridad, hemos preferido separarla de los otros métodos de este tipo ya referidos.

Las ventajas de esta forma de captura y registro del color de la imagen son:

- Se procura una descripción precisa del color de la superficie de los documentos a nivel físico: el espectro electromagnético de la luz reflejada o transmitida por la superficie del documento que se va a registrar digitalmente.
- Se da la posibilidad de reproducir la apariencia de la obra de arte o documento simulando cambios en las condiciones de iluminación de forma automática y sin la necesidad de hacer diferentes versiones que conlleven ediciones intensivas de la imagen.
- Se puede evaluar de forma muy precisa los cambios de color de una obra de arte o documento en el tiempo.
- Se pueden capturar materiales fluorescentes que son comunes en obras de arte contemporáneas.
- Se solucionan los problemas de metamerismo de dispositivo, que tanto dificultan en el sistema RGB la precisión de color.

⁴⁷ Uno de los estudios más interesantes a este respecto es *Direct Digital Capture of Cultural Heritage – Benchmarking American Museum Practices and Defining Future Needs. Final Report*, 2005. Disponible en: <http://msc.mellon.org/research-reports/Direct%20Digital%20Capture%20of%20Cultural%20Heritage.pdf/view>

- Aporta una información muy valiosa para la realización de tareas de conservación, restauración, rescate de legibilidad e investigación sobre las obras de arte y documentos.
- Permite una reproducción facsímil muy fiel.

Cuando pensamos en la factibilidad del uso de esta tecnología, hemos de sopesar las desventajas de esta técnica, en el estado tecnológico actual, que a nuestro juicio son:

- El alto volumen de datos a almacenar digitalmente para poder tener una representación espectral suficientemente completa de una vista del objeto. No obstante, para reducir el problema de la gran cantidad de datos a almacenar se puede usar una codificación espectral compacta, que emplea entre cinco y ocho canales únicamente, y que es compatible con los actuales modelos para la gestión de color.
- La dificultad de acceder a equipos y software para la creación y trabajo con este tipo de imágenes.
- El alto coste de esta tecnología cuando se pretender obtener una alta calidad de resultados.
- La ausencia de formatos de fichero de uso generalizado que permitan almacenar este tipo de datos. Este problema deriva en que los datos espectrales se terminan almacenando dispersos en tantos ficheros digitales como bandas espectrales se haya utilizado para su registro.
- La necesidad de aplicar un procesamiento adicional, técnicamente complejo y ajeno a productos comerciales de fácil acceso, para conseguir versiones visualizables o reproducibles en sistemas de representación de color convencionales RGB.

En patrimonio documental y artístico nos pueden interesar especialmente dos de las modalidades de la imagen multiespectral:

- Captura multiespectral en espectro visible, también denominados *Multi-channel visible spectrum imaging* (MVSI). Esta tecnología recoge datos de la composición espectral de la luz reflejada por los objetos, pero sólo dentro del espectro visible, normalmente entre los 380 y los 700 nanómetros de longitud de onda. Su finalidad es la mejora en la precisión del registro y reproducción posterior del color del objeto digitalizado, evitando los problemas de metamerismo típicos de los sistemas convencionales de captura y codificación RGB. Los MVSI también facilitan una descripción colorimétrica muy precisa a nivel

de píxel. Se han venido usando en la digitalización de obras de arte emblemáticas. Uno de los mejores proyectos para conocer cómo se aplican estas técnicas es Art-si del RIT. Se trata de un sitio Web especializado en *Art Spectral Imaging*⁴⁸ que da acceso a un amplio número de trabajos sobre el tema.

- Captura multiespectral en espectro visible más bandas UV e IR. Además de la finalidad anterior, se consigue una imagen con suficiente información como para poder realizar procedimientos automáticos de análisis con información portada por luz no visible dentro de los rangos IR y UV. Esta representación permite hacer procesos de restauración digital de gran utilidad en algunas aplicaciones, como el rescate de trazos perdidos o el acceso a información que ha sido enmascarada por sobrescrituras o deterioro del soporte. También ayuda a aproximar una identificación química de los materiales usados para la escritura o pintura; por ejemplo, es posible conocer si se han empleado diferentes tintas, pigmentos o tratamientos del soporte, lo que da paso al conocimiento sobre el proceso de elaboración del documento u obra de arte y a detectar posibles falsificaciones.

La información contenida en las bandas espectrales se puede representar para cada punto de imagen (píxel) con unas coordenadas cartesianas, en las que se ubica en el eje vertical (Y) la intensidad de la luz en cada banda, y en el horizontal (X) las diferentes bandas objeto de registro. Como en el siguiente ejemplo, que mostraría el espectro de un píxel de una imagen multiespectral de un documento manuscrito. En este espectro se han registrado 12 bandas espectrales, cada una de las cuales se registra en un canal de la imagen:

⁴⁸ Disponible en <http://www.art-si.org/>.

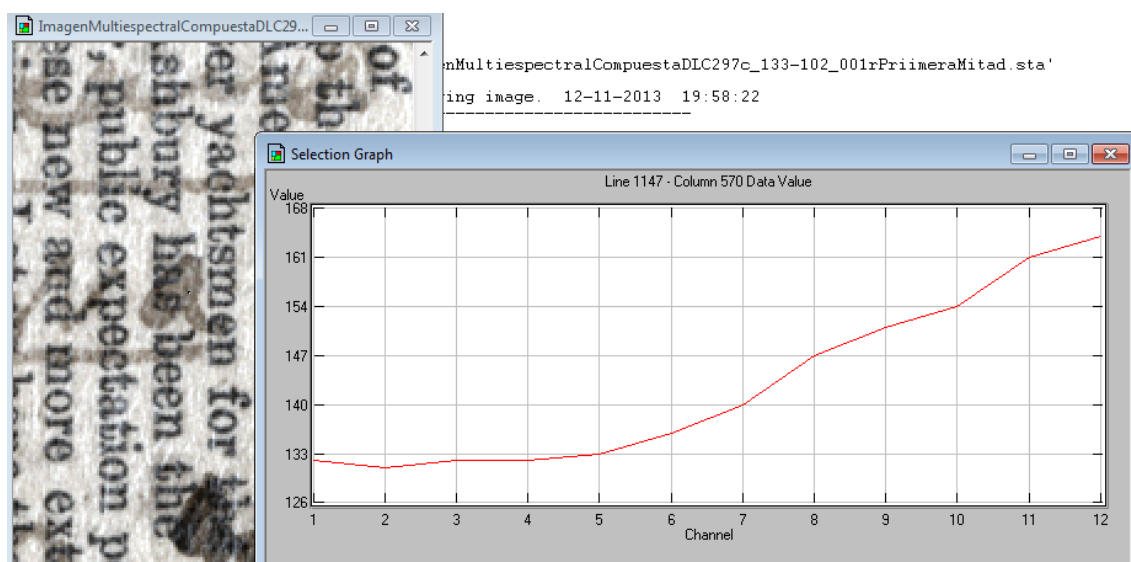


Figura 22. Espectro de un píxel de una imagen multispectral de un documento manuscrito. El documento digital empleado como ejemplo ha sido obtenido en la Web del proyecto *Livingstone's Letter from Bambarre*⁴⁹

El píxel marcado corresponde a la tinta de una letra manuscrita de las que se superpone al texto impreso. El eje Y representa la intensidad de luz y el eje X el canal (banda espectral). Esta imagen tiene 12 canales, cada canal corresponde a las siguientes bandas espectrales:

Nº Canal	Banda espectral (Nanómetros)
1	0365
2	0450
3	0465
4	0505
5	0535
6	0592
7	0638
8	0700
9	0735
10	0780
11	0850
12	0940

1	0365
2	0450
3	0465
4	0505
5	0535
6	0592
7	0638
8	0700
9	0735
10	0780
11	0850
12	0940

⁴⁹ Disponible en <http://livingstone.library.ucla.edu/bambarre/>.

Si desplegamos todos los canales vemos la imagen correspondiente a cada banda espectral de la imagen multiespectral del documento capturado.

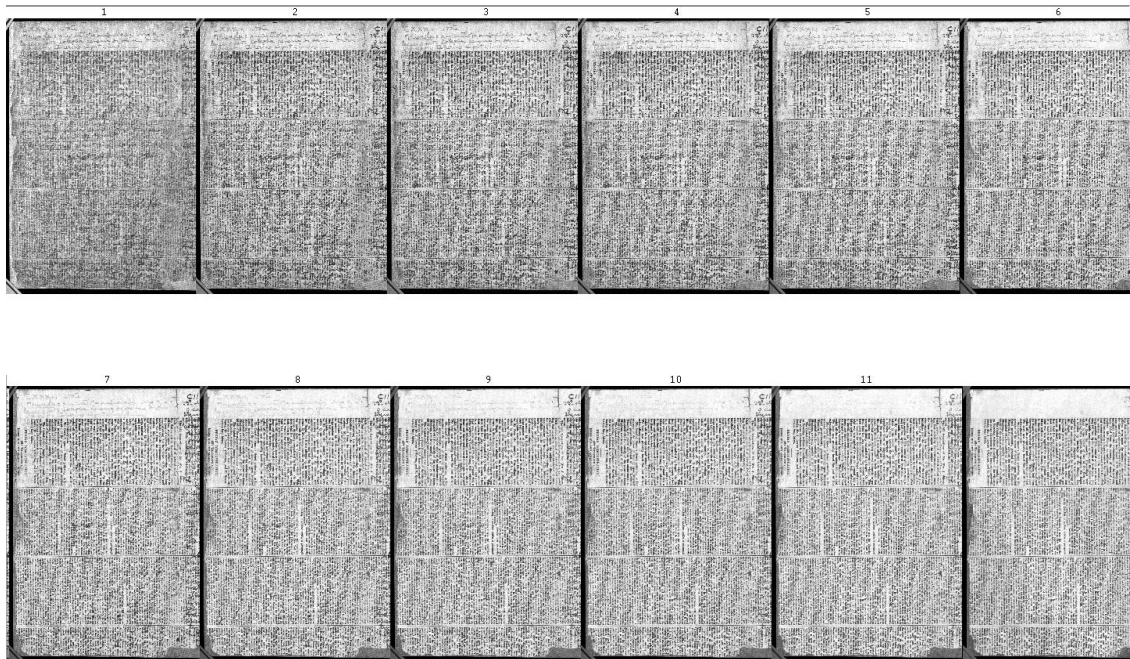


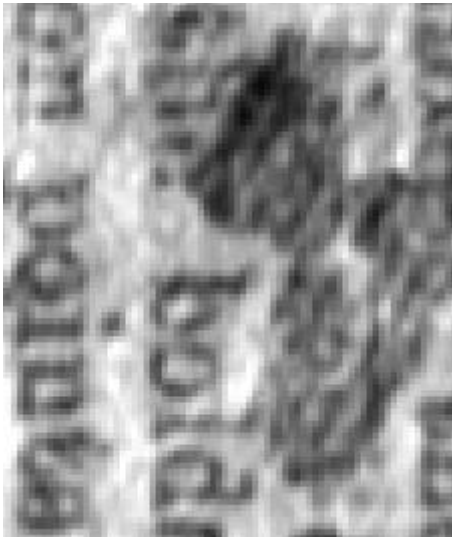
Figura 23. Canales desplegados de una imagen multiespectral

Cada banda suele portar información diferente. De ahí la utilidad de la imagen multiespectral para muchas tareas de análisis del documento: hay información de una banda que puede quedar enmascarada o no haber sido registrada en absoluto en la captura RGB, pero si vemos la banda aislada la visualizamos. Veamos el mismo fragmento del documento anterior en sus 12 bandas. Primero en RGB y luego en cada una de las bandas por separado.

RGB.



1 0365. Banda UV.



2 0450. Banda correspondiente al color azul.



3 0465. Banda correspondiente al color azul claro (cian).



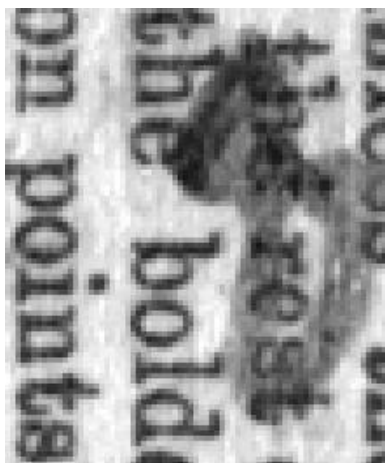
4 0505. Banda correspondiente al color verde.



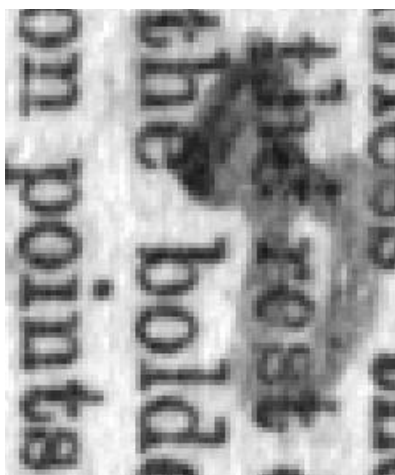
5 0535. Banda correspondiente al color verde.



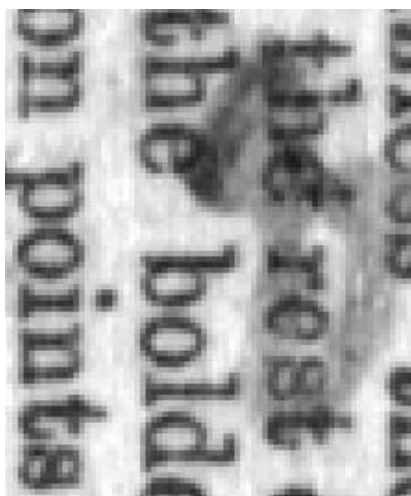
6 0592 Banda correspondiente al color amarillo.



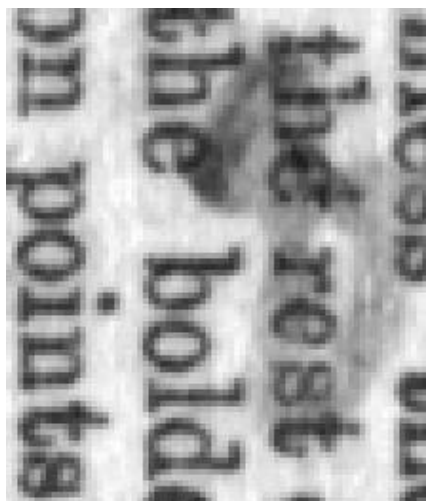
7 0638. Banda correspondiente al color rojo anaranjado.



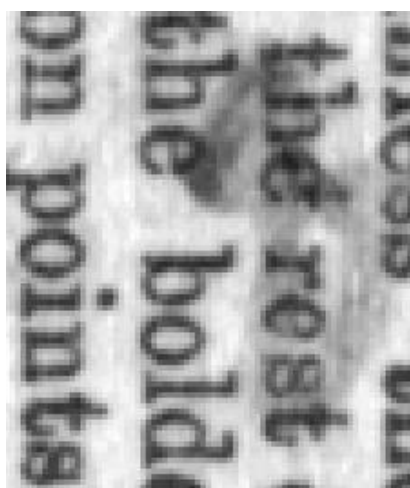
8 0700. Banda correspondiente al color rojo.



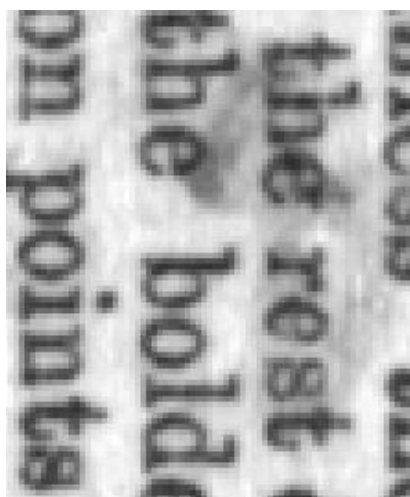
9 0735. Banda correspondiente al color rojo oscuro.



10 0780. Banda correspondiente al color rojo muy oscuro. Suele marcar el límite del infrarrojo.

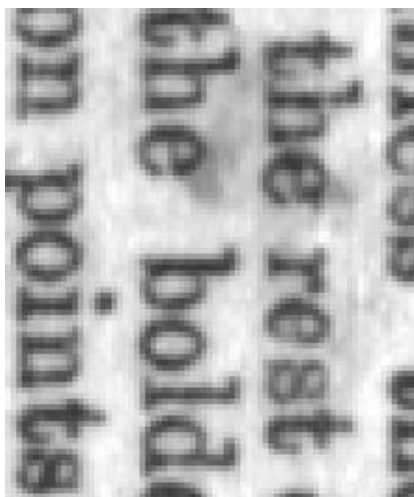


11 0850. Banda correspondiente al IR cercano.



12

0940. Banda correspondiente al IR cercano.



Si seguimos toda la secuencia anterior, veremos cómo a medida que nos aproximamos a las bandas IR (las dos últimas), el texto manuscrito que se superpone al texto impreso va desapareciendo, con lo que se hace legible el texto impreso. Si nos fijamos en la primera imagen, la RGB, el texto impreso “the rest” es ilegible porque encima se ha sobrescrito algo. En las dos imágenes de las bandas IR ese texto es legible, porque en esas bandas no se ha registrado lo sobrescrito, pero sí la información de la tinta impresa. Las diferentes sustancias empleadas para esos dos tipos de tintas absorben y reflejan la radiación electromagnética de forma diferenciada, por lo que las bandas espectrales tienen información distinta. Esto hace posible no sólo mejorar la legibilidad de textos desvanecidos o sobrescritos, sino también identificar esas tintas y diferenciarlas.

Veamos esto con más detalle. Si observamos el espectro de un píxel correspondiente a tinta impresa (primera imagen de a continuación) y lo comparamos con el de un píxel de tinta superpuesta (manuscrita) (imagen siguiente a la otra) nos damos cuenta de que son diferentes. Cada tinta tiene su propia “firma” o “huella” espectral.

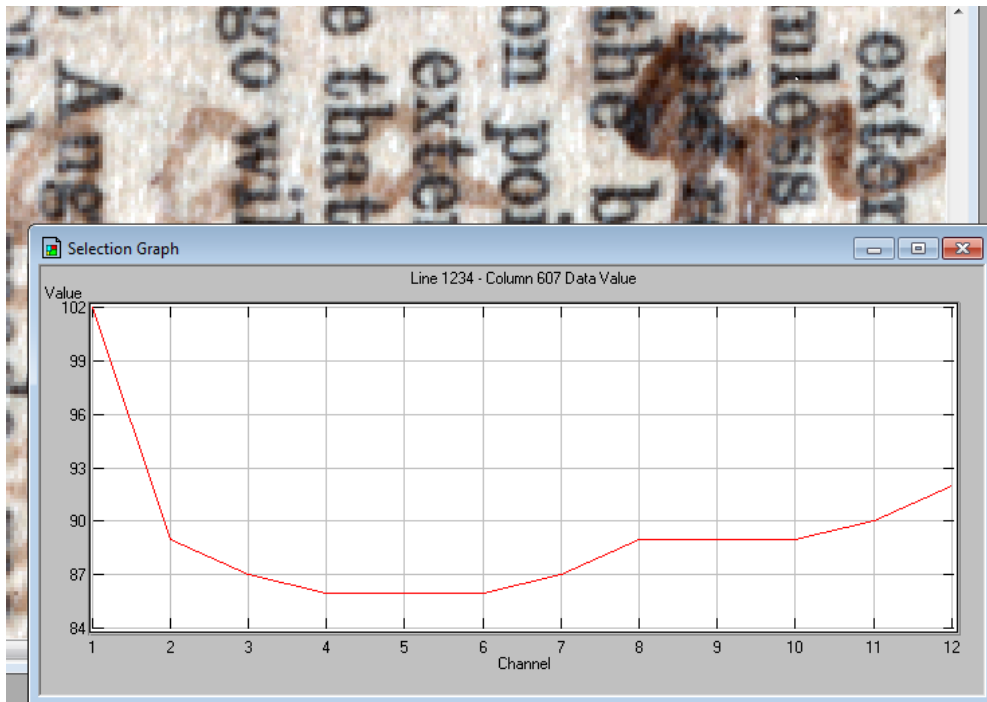


Figura 24. Firma espectral de tinta impresa (color negro)

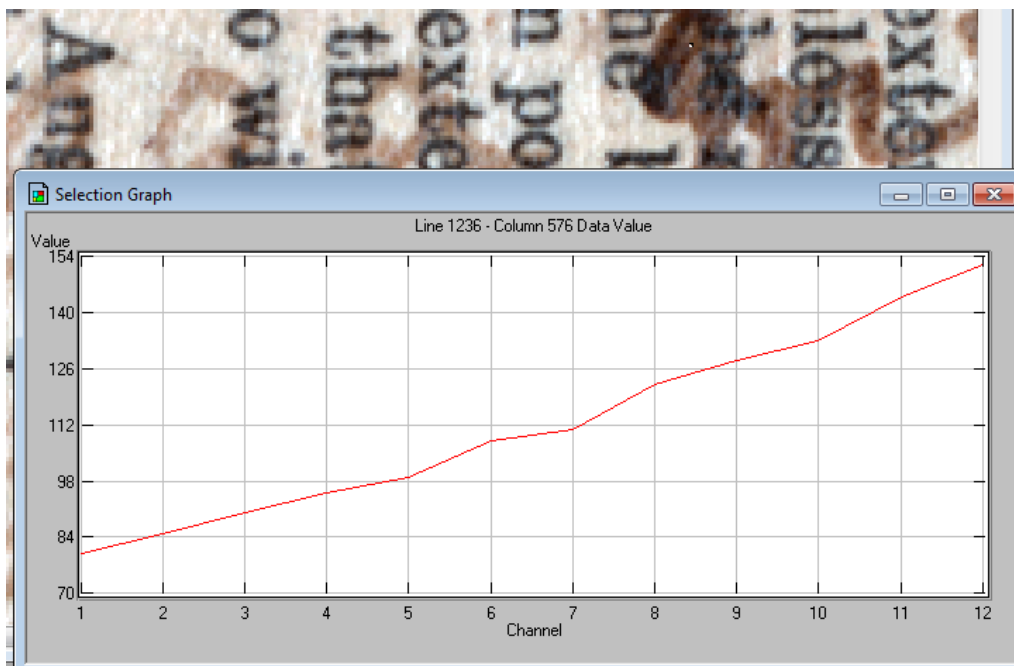


Figura 25. Firma espectral de tinta manuscrita (color marrón)

La tinta manuscrita que vemos de color marrón refleja mucha radiación infrarroja, por lo que adopta una tonalidad muy clara en su banda, lo que causa que el texto negro impreso que apenas refleja radiación infrarroja se vea magnificado visualmente.

El espectro nos permite comprobar cosas tan interesantes como ver qué las tintas son diferentes e incluso nos podría ayudar a identificar las sustancias

empleadas para su fabricación, ya que los diferentes componentes químicos tienen a su vez firmas espectrales que les son características.

Cuando se aplique este tipo de captura, y para procurar una mayor compatibilidad, la salida se hará de acuerdo a estos requisitos:

1. Cada banda espectral se almacenará en un fichero TIFF en escala de grises a 16 bits, cuyo nombre habrá de tener expresado numéricamente la información de la banda espectral a la que corresponde al final y separado del resto de caracteres por el carácter “_”. Al final del número se pondrá “nm”. Un ejemplo de nombre de fichero es: FA-01111_380nm.tif.
2. Se deberá guardar de forma relacionada con todos los ficheros máster un fichero TXT codificado en UTF-8 que contenga un listado en forma tabular con la información de todos los nombres de fichero que componen la captura espectral junto con la información de la banda espectral a que corresponden en nanómetros, tal como:

Fichero	Banda espectral (Nanómetros)
01112_380.tif	0365
01113_380.tif	0450
01114_380.tif	0465
01115_380.tif	0505
01116_380.tif	0535
01117_380.tif	0592
01118_380.tif	0638
01119_380.tif	0700
011110_380.tif	0735
011111_380.tif	0780
011112_380.tif	0850
011113_380.tif	0940

3. Se permite guardar de forma complementaria una versión TIFF que incruste todos los ficheros independientes en un mismo fichero, a modo de canales independientes. Dado el alto tamaño de este fichero

se deberá justificar esta necesidad suficientemente y no suponer una carga excesiva en el conjunto de la masa de ficheros del proyecto.

4. También se podrá guardar de forma complementaria una versión codificada en RGB independiente de dispositivo de gama amplia o CIELAB D50 o D65, a modo de submáster, obtenida mediante el procesamiento de las bandas espectrales, a 16 bits por canal de color. Esta imagen será procesada de manera que muestre la máxima fidelidad en apariencia con respecto a la vista de la obra captada en condiciones de iluminación de interior.

El costo de consecución y aplicación de la tecnología necesaria para aplicar un sistema multiespectral es muy alto. Los procesados requeridos, tanto para obtener ficheros multicanal multiespectrales como ficheros de canal monocromáticos, son lentos incluso para personal experimentado. La obtención de imágenes acopladas en RGB o espacios CIE a partir de los datos espectrales requiere personal muy experimentado con una alta formación en tecnología del color y de la imagen digital. No obstante, el uso científico de imágenes multiespectrales se simplifica mediante el uso de aplicaciones de uso libre, como *Multispec*⁵⁰, a través de las que pueden realizarse procesados y análisis de datos espectrales de forma amigable.

2.2.9 Recapitulación sobre la alternativa elegida para los másteres. Información lo más en bruto posible

Podemos calificar a los másteres de imagen digital que siguen estas recomendaciones como contenedores de datos de imagen lo más en bruto posible, tal y como salen de los dispositivos de captura. A estos datos se incorpora un perfil ICC que permite su procesamiento para poder obtener en un espacio de color renderizado una interpretación de la imagen digital fiel a la vista del original captado de acuerdo a unas condiciones de observación predeterminadas. Estas condiciones son las establecidas para el espacio de color de conexión de perfil (PCS) dentro del propio perfil ICC incrustado en las imágenes. Se asume siempre un observador humano con salud visual acorde a los requisitos de observador estándar tal como es delimitado por la CIE.

Como ya hemos comentado en otro sitio, la apariencia final de la imagen cuando se visualiza o reproduce a través de un dispositivo de salida dependerá de las características de éste en lo que respecta a gama de colores

⁵⁰ Esta aplicación puede descargarse gratuitamente desde <https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/> . Está siendo desarrollada por investigadores de la *School of Electrical and Computer Engineering, ITaP y LARS* de la Purdue University.

reproducibile, intensidad de los puntos blanco y negro (que determina su rango dinámico) y cromaticidad de punto blanco (fondo de papel o luz blanca del monitor, por ejemplo); pero también de las características del entorno en el que se observa la visualización o proyección en pantalla o la reproducción en papel u otro medio (presencia de reflejos, intensidad de luz ambiente, color de la luz ambiente, colores de las paredes de sala, etc.) Esto es así porque la imagen codificada en el PCS debe sufrir otro proceso de renderización (*re-renderig*) que la adapte para su visualización y reproducción. En este proceso interviene también el perfil de color del dispositivo empleado para estos procedimientos. El *re-renderig* puede derivar en un cambio muy perceptible de apariencia, que será más acusado a medida que la diferencia de gama de colores y rango dinámico entre el espacio de color del dispositivo de salida y el de la imagen sea mayor. Debido a esto, salvo con unas condiciones de observación muy controladas y unos dispositivos perfectamente calibrados y caracterizados y de alta calidad, con unas gamas cromáticas y rangos dinámicos amplios, será difícil obtener una apariencia próxima a la codificada en el PCS de la imagen digital o del mismo original cuando es contemplado en unas condiciones de observación típicas.

Pensamos que esta concepción de los másteres asegura hasta cierto punto la mejor conservación de los datos de imagen registrados por los dispositivos de captura, y evita además el riesgo de su pérdida o alteración por la aplicación de procesados adicionales sobre los mismos. Creemos, asimismo, que esta alternativa de codificación de la apariencia de la imagen se ajusta al paradigma actual de la gestión de color ampliamente seguido en el campo de las Artes Gráficas y en Fotografía Digital. Por ello, las imágenes serán compatibles con una amplia gama de productos de procesamiento de imágenes y dispositivos de reproducción y visualización. Además, el sistema elegido se ajusta también a las condiciones típicas de observación de documentos y obras de arte habitualmente contempladas en entornos de interior, por lo que en las reproducciones y visualizaciones las imágenes parecerán más naturales.

Para podernos hacer una idea más cercana de lo que implica el método de codificación elegido, vamos a presentar, a continuación, cuatro ejemplos de visualizaciones correspondientes a cuatro formas de codificación diferentes de una misma captura de obra de arte. Las imágenes de los ejemplos simulan la apariencia de las imágenes codificadas bajo el supuesto de que están siendo contempladas dentro de unas condiciones de ambiente de observación estandarizadas y en un monitor de amplia gama cromática y rango dinámico (prácticamente coincidentes con los del espacio de color Adobe RGB (1998)), y que éste ha sido correctamente calibrado y caracterizado. También se asume que las imágenes están transformadas a un espacio de color RGB estándar de gama amplia: el espacio Adobe RGB (1998). La proximidad de los espacios de color del monitor y Adobe RGB (1998) provoca que el monitor genere sobre su pantalla una reproducción virtual idéntica a la apariencia que está codificada en los datos de las imágenes dentro de la codificación del PCS.

- a) Codificación acorde al sistema elegido en estas directrices. Asume condiciones de visualización estándares para entornos de interior e incorporadas en la mayoría de espacios de color RGB renderizados estandarizados. En este caso, Adobe RGB.



Figura 26. Codificación acorde al sistema elegido en estas directrices

- b) Codificación acorde a unas condiciones de observación de ambiente exterior por la mañana. Asume unas condiciones de observación típicas de una mañana soleada con luz solar incidiendo directamente sobre la obra de arte. El tono amarillento y anaranjado de la luz solar a esa hora se refleja en la imagen, que presenta una dominante de este matiz, siendo muy aparente en los blancos. No obstante, la adaptación del ojo a los blancos provoca que la dominante llegue rápidamente a pasar desapercibida⁵¹.

⁵¹ Este fenómeno de adaptación del sistema visual humano se denomina constancia del color. La constancia del color provoca que la mayoría de las superficies de color parezcan mantener la apariencia de color que tendrían bajo lo que sería la luz del día, incluso bajo condiciones luminosas muy diferentes a dicho tipo de iluminación. Cuando se produce, el sistema visual humano compensa las dominantes de color que provocan las luces no perfectamente neutras, haciendo parecer los blancos o grises como neutros y modificando proporcionalmente la percepción del resto de los colores a la vista para que sean percibidos como es su percepción ante una luz neutra. Gracias a este fenómeno los seres humanos podemos usar el color como atributo identificador de los elementos a nuestro alcance visual independientemente del tipo de luz que los ilumine. Para que se produzca este fenómeno perceptivo en una imagen digital debe haber una referencia en la imagen que el observador pueda identificar como que es neutro en la vida real. En nuestro caso, podría ser la escala de grises de la carta de color que aparece a la izquierda de la fotografía.



Figura 27. Codificación acorde a unas condiciones de observación de ambiente exterior por la mañana

- c) Codificación acorde a unas condiciones de observación de ambiente exterior al medio día. Asume unas condiciones de observación típicas de medio día con luz solar incidiendo directamente sobre la obra de arte.



Figura 28. Codificación acorde a unas condiciones de observación de ambiente exterior al medio día

- d) Codificación acorde a una observación en ambiente interior con luz ambiente muy tenue, muy por debajo de lo especificado en los espacios de color renderizados estándares RGB.



Figura 29. Codificación acorde a una observación en ambiente interior con luz ambiente muy tenue

De estos cuatro ejemplos, el sistema de codificación elegido para estas directrices se ajusta al primero. En realidad, esta primera imagen es la única codificada correctamente, pues si las cuatro imágenes están dentro del espacio de color Adobe RGB, hemos de asumir que este espacio supone unas condiciones de observación y medio de referencia que sólo se cumplen para la imagen primera. Por ello, las tres siguientes serían engañosas al observador, ya que supuestamente estarían presentándole la apariencia bajo unas condiciones de observación de ambiente de interior con una intensidad de luz coincidente con la de referencia para el PCS del Adobe RGB, cosa que no muestran. Esas tres imágenes distan mucho de presentar fidelidad en color y contraste a los originales, pudiendo llevar al observador a interpretaciones muy erróneas del contenido plástico de esa imagen original. Este tipo de desviaciones son las que queremos evitar en las imágenes de un proyecto de captura patrimonial. Por este motivo, aportamos unas pautas exigentes en lo relativo al sistema de codificación de color admitido y su documentación exhaustiva de acuerdo a los estándares de color vigentes en este momento.

Admitimos una preferencia por las imágenes lineales, pero autorizando también la codificación no lineal en aquellos procedimientos en los que se detecte que la aplicación de la tecnología de gestión de color deriva en imágenes con posterización y exceso de ruido en las zonas de sombra y cuando no sea factible acceder a una tecnología de perfilado que evite estos problemas en las imágenes lineales.

En estas directrices se exige la conservación de las imágenes de las cartas de color para el perfilado ICC siempre vinculadas a las imágenes másteres correspondientes, y junto a los datos colorimétricos precisos de sus parches. Esta práctica permite complementar la medida de seguridad que supone la incrustación de los perfiles ICC en las imágenes, pues facilita que se puedan crear eventualmente nuevos perfiles sustitutivos mejorados acorde a las nuevas tecnologías de gestión de color que vayan surgiendo. Al tener los datos en bruto o semiprocesados y sin renderizar, garantizamos que no se producen pérdidas de información por conversiones de color incorrectas

(cuando se usen perfiles ICC defectuosos) o se realicen procesados tonales o de nitidez inadecuados.

Algunos autores (Süsstrunk, 2001, p. 6) han clamado en contra de la práctica de relegar la codificación precisa del color a perfiles de color ICC, dejando la imagen en el espacio de color del dispositivo sin transformar sus datos en bruto a un espacio de color renderizado estándar. El motivo referido es que los perfiles ICC actuales no contienen datos de caracterización de dispositivos, pues sólo contienen las ecuaciones que permiten transformar los datos de imagen al espacio de color específico del PCS, y que los datos en bruto normalmente sufren algún tipo de transformación desde el propio dispositivo o controlador de dispositivo que no queda registrada en los metadatos de imagen. Tenemos, así, los datos de imagen codificados de manera no estándar, pues son dependientes del dispositivo y del procesado de captura (por mínimo que éste haya sido). Consecuentemente, en caso de pérdida, obsolescencia o incompatibilidad futura del perfil, no será posible decodificar correctamente el color de los píxeles de la imagen, y, por consiguiente, la apariencia de la imagen que está codificada en ellos. También es razonable pensar que el estado tecnológico en procesado de color digital evoluciona y que en no muchos años el paradigma de la gestión de color de la ICC quedará obsoleto y superado por nuevas tecnologías. En este escenario puede ser arriesgado no usar un sistema de codificación que no sea totalmente dependiente de los perfiles ICC incrustados en la imagen y que permita la decodificación incluso cuando no sea posible decodificar el perfil. Esta opción es la opción que describimos anteriormente con detalle, que consiste en transformar los datos de imagen desde el espacio de color del dispositivo a un espacio de color renderizado estándar, tal como Prophoto RGB o Adobe RGB.

A pesar de estas consideraciones negativas, optamos por datos lo más en bruto que sea posible, muy bien documentados, y en la renderización virtual, que no implica transformación alguna de los datos en bruto, para la visualización o impresión que posibilitan los perfiles ICC. El motivo es que, tras sopesar los riesgos y oportunidades de ambas alternativas, pensamos que hemos de evitar la conversión de espacios de color en bruto, pues este proceso acarrea la renderización a nivel de datos almacenados en los ficheros. Los datos se transforman necesariamente durante el proceso de conversión, pues se debe conseguir una representación equivalente de los colores dentro de la gama de colores y rango dinámico de luminancias del espacio de destino de acuerdo al propósito de conversión elegido con las peculiaridades del entorno de observación de referencia del mismo. Esa transformación de los datos en bruto puede conllevar una pérdida irreversible de la señal tal y como sale del dispositivo. La pérdida puede ser mayor cuando se trata de imágenes de originales con unos altos márgenes de densidades, más allá del rango dinámico de los medios de referencia especificados en los espacios de color RGB independientes de dispositivo de uso más habitual. En estos casos se puede producir fácilmente un recorte de los tonos de altas luces que caen por encima del rango dinámico del espacio de destino.

Bien es cierto que reconocemos que hay cierto riesgo ante la posible obsolescencia futura del modelo de gestión de color actual, pero consideramos que puede ser asumido en un entorno de control de preservación digital donde se hace un seguimiento del estado de obsolescencia de las tecnologías implicadas: perfiles ICC, sistemas de codificación, formatos de fichero, etc.

Puede darse que en algunos dispositivos sea imposible obtener la información en bruto, al dar ya las imágenes en un espacio de color RGB renderizado. Ante estas situaciones se procurará necesariamente que el espacio de color de salida sea un espacio RGB con una *gama* amplia, tal como Adobe RGB, EciRGB o Prophoto RGB. También se procurará que la conversión a este espacio de salida se haga, mientras sigan estas tecnologías vigentes, mediante un perfil ICC específico de escáner o mediante un perfil de Adobe Camera RAW DNG si se usa una cámara digital.

Reconocemos también que el uso de perfiles ICC no siempre garantiza una correcta reproducción del color en monitor o copias impresas, y que en ocasiones se requiere una edición de la imagen para conseguir la apariencia más precisa del original en esos dispositivos. Ante esta circunstancia, podría considerarse como más idóneo permitir procesos de ajuste total de las imágenes mediante su edición con el original delante y en unas condiciones de trabajo estandarizadas. Este procedimiento no nos parece adecuado tratándose de capturas patrimoniales, y no solo por la necesidad de convertir las imágenes a un espacio de color RGB independiente de dispositivo de trabajo, sino también porque, por nuestra experiencia, sabemos lo intensivos en tiempo que son esos ajustes, y que es necesario contar con personal muy experimentado y formado en Arte para hacerlos sin terminar produciendo imágenes con una apariencia amparada en interpretaciones subjetivas de los originales derivadas de preferencias plásticas del propio operador. Y, además, por mucho que se normalice el entorno de trabajo y se afine la calibración y caracterización de los monitores, la apariencia que se termina codificando en las imágenes es altamente dependiente de las características de gama de color y contraste, y de la calibración y condiciones de entorno, del monitor usado para la edición; no consiguiéndose reproducir con exactitud cuando se cambia de dispositivo, medio de salida o condiciones de entorno.

2.3 Control de aseguramiento de calidad previo a la captura

En este epígrafe detallamos una taxonomía de parámetros físicos y mecánicos acompañada de un listado de defectos a evitar. Ofrecemos, asimismo, las pautas y métodos para la medición e identificación de estos elementos en las imágenes. La finalidad de este contenido es asentar una referencia que permita hacer el control de aseguramiento de calidad de manera objetiva y precisa. Esta referencia puede ser utilizada también a la hora de definir el sistema automatizado o manual de control de resultados de captura.

La sustancia que conforma las imágenes digitales raster son los píxeles, que son representaciones de color o intensidades de luz (tonos de gris). Una imagen digital raster a nivel físico no es más que un agregado de colores o tonos de gris. Este sería el nivel de abstracción menor en un control de calidad. Trabajar a este nivel nos permitiría emplear dos únicos parámetros: la exactitud en la codificación del color píxel a píxel, ante imágenes en color, o de valores tonales, si se trata de imágenes en grises. Pero hacer el control de calidad a nivel de cada uno de los píxeles individuales que conforman la imagen no es factible, ante la extrema complejidad técnica que se requeriría. Es más práctico partir de un nivel de abstracción mayor, en el que los píxeles conforman elementos icónicos o plásticos, cuya precisión en la representación puede ser evaluada de manera factible. En este nivel podemos hablar de cosas como calidad en el registro del detalle visual más fino, el rango de densidades ópticas, la geometría, el contraste, el color, etc.; o de la presencia de ruido, artefactos o defectos de manipulación que distorsionan la calidad de la representación. La nómina de parámetros y defectos que hemos seleccionado en las especificaciones que presentamos más abajo trata de abarcar toda la tipología de estos elementos de medida emergentes que son esenciales para garantizar la calidad de las imágenes digitales, siempre entendida como fidelidad a nivel físico con las vistas de los originales capturadas digitalmente.

El control de aseguramiento debe hacerse sobre los equipos y procedimientos de captura y procesamiento aplicados a las imágenes antes de su almacenamiento en fichero, ejecutándose justo a continuación de la configuración de los equipos y software de captura para la toma de un lote de documentos que requiera unas condiciones idénticas de captura. La finalidad de este procedimiento es garantizar que todas las operaciones se llevan a cabo con la corrección necesaria como para por obtener imágenes que cumplan con los requisitos generales de calidad.

Se debe aplicar el control con el mismo software, controladores y aplicaciones usadas para capturar y procesar las imágenes. Cualquier cambio de alguno de estos elementos durante la digitalización de un lote requerirá que las capturas siguientes sean consideradas como un nuevo lote, requiriéndose un nuevo control de calidad.

Es recomendable que la empresa o personal interno encargado de la realización de las digitalizaciones haga un informe técnico especificando los resultados de control de aseguramiento de calidad, donde explique por cada equipo, o por cada par equipo/condiciones de captura (en el caso de que se apliquen diferentes condiciones de captura con el uso del mismo equipo), las pruebas realizadas para confirmar el cumplimiento de las especificaciones de calidad y sus resultados. Se tendrá que identificar perfectamente cada equipo, indicando se fabricante y modelo. Se deberá también hacer constar el objetivo del informe, la persona responsable de su realización y la organización para la que trabaja. Una copia de cada uno de esos informes será almacenada en la carpeta padre del proyecto, en una subcarpeta denominada "informes_tecnicos". El formato del documento de informe será PDF; su nombre tendrá que cumplir las normas de nomenclatura definidas

más arriba y contendrá un término que identifique fácilmente su contenido, tal como: “informe_pruebas_calidad_equip_fotografia.pdf”.

2.3.1 Uniformidad en la iluminación del documento

La iluminación tiene que ser uniforme en toda el área de captura del documento, pues, en caso contrario, se mermará la fidelidad y calidad en el registro del color y tono del original. La uniformidad no sólo depende de la iluminación, sino también de la calidad de las lentes usadas. Cuando las lentes no están suficientemente corregidas se puede producir el defecto de viñeteado, consistente en la caída de luz en los bordes de las imágenes, independientemente de que se haya conseguido una buena uniformidad en el sistema de iluminación del documento.

En las capturas con dispositivo aéreo (escáner cenital o cámara fotográfica digital) habrá que seguir la siguiente pauta:

- Los valores máximos de fluctuación de la intensidad de luz en la superficie de captura serán medidos antes de la captura con un fotómetro de mano usándose como unidad de medida el Valor de Exposición (diafragma). No se admitirán más de 2 décimas de diafragma de fluctuación en ningún área de la superficie de la obra a capturar.

En las capturas con escáner de plataforma se tiene que seguir esta pauta:

- Se hará una captura de la tapa blanca del escáner en una imagen TIFF sin comprimir que tendrá al menos 200 ppp (píxeles por pulgada). A esa captura no se le debe aplicar ningún tipo de ajuste tonal, cromático o de nitidez. Se deben desactivar todos los mecanismos de ajuste automático del escáner. Sobre esa captura se hará una prueba de uniformidad, que puede ser visual o automática. En la prueba visual se aplicará la ecualización de la imagen, lo que permitirá ver las diferencias de uniformidad con claridad. En la prueba automática se puede usar el software Imatest®, que ofrece datos objetivos de las diferencias. Para la prueba con Imatest® se usará una cartulina blanca perfectamente uniforme y no se admitirán valores de caída de luz superiores a:
 - En el peor punto de un 30%
 - En el área peor, una media superior a un 20%.

En las capturas con escáner de diapositivas se deberá seguir esta pauta:

- Se hará la captura de una diapositiva cuyo marco contenga una placa de plástico transparente o un papel blanco traslúcido perfectamente uniforme. En cuanto a las pruebas a realizar se procederá exactamente igual que en las pruebas de escáner de plataforma.

2.3.2 Paralelismo entre superficie del documento y plano focal

Es preciso que haya un paralelismo completo entre la superficie del documento y el plano focal de la cámara o del escáner antes de la captura. En su defecto, se producirán distorsiones de tipo geométrico que podrán alterar las formas y relaciones dimensionales de los contenidos. Este problema es especialmente graves en las manifestaciones artísticas o en los gráficos de diseño de instalaciones presentes en los fondos a digitalizar (dibujos, fotografías, pintura, bocetos, diseños...), por lo que tendrá que cuidarse con esmero.

Cuando se trate de dispositivos aéreos es preciso comprobar este parámetro mediante un nivel de burbuja, que se colocará sobre la cámara digital y sobre la superficie de originales. En escáneres de plataforma o de otro tipo se comprobará mediante una captura de prueba de una carta cuadrículada tipo rejilla. Si no hay paralelismo, las formas rectangulares de la carta quedarán distorsionadas sobre la imagen digital, lo que facilitará su apreciación visual o a través de herramientas de edición de imágenes que permitan superponer formas infográficas sobre el patrón de la carta de rejilla capturada.

2.3.3 Calidad cromática derivada de la exactitud del perfil de color y del proceso de gestión de color aplicado en la captura, procesado y representación digital de la imagen

2.3.3.1 Nota importante sobre el uso del programa Imatest® para la evaluación de la calidad cromática

El programa Imatest® sólo permite aplicar el módulo Colorcheck a imágenes cuyo espacio de color es RGB independiente de dispositivo y entra dentro de esta lista: sRGB, Adobe RGB (1998), Wide Gamut RGB, ProPhoto RGB, Apple RGB, ColorMatch RGB y Rec. 709. Por ello, si se aplica este programa, las imágenes másteres de prueba tendrán que ser previamente convertidas al espacio de color Adobe RGB (1998) usándose un propósito de conversión Colorimétrico Relativo y con compensación de punto negro. El motor de

conversión de color empleado será Adobe ACE. Esta pauta no deriva en que las imágenes másteres de las obras a capturar deban ser convertidas necesariamente a este espacio de color. El espacio de color para los másteres será el establecido en las pautas a este respecto dadas para cada tipo de medio y que figuran más abajo.

2.3.3.2 Desviación de color

Este parámetro mide la calidad en el registro de color, tomando como base la representación digital de las cartas de color usadas en las pruebas. El valor de este parámetro sólo es de utilidad si se ha realizado y usado un perfil de color ICC durante la captura. Hay que resaltar también que este parámetro no proporciona una estimación realista de la calidad del registro de color de la obra digitalizada sino de la de los propios colores de la carta. En realidad, lo que estamos evaluando es la calidad del perfil de color de la imagen o de la transformación de espacio de color. No obstante, la precisión de este dato con respecto a la calidad del registro del color de la obra a digitalizar será mayor en la medida en que las características espectrales de la superficie a capturar (pigmentos, soporte de la obra, tintes, tinta...) se asemejan a las de los pigmentos o tintes usados en las cartas de control. Pero a pesar de la diferencia que pueda haber a este respecto entre la obra a capturar y la carta de control, podemos considerar que esta prueba tiene una representatividad aceptable en grado de exactitud del registro del color, siendo lo ideal que sea contratada con una prueba de *softproofing* sobre una muestra de obras a digitalizar.

Estas pruebas se pueden realizar visualmente por una persona suficientemente experimentada en calidad de imágenes y con experiencia en pruebas de *softproofing*. Pero lo recomendable es que se automatice a través de un sistema de control de calidad objetivo. Si se opta por esta segunda vía, se puede usar el software Imatest®, en concreto su módulo ColorCheck. La prueba se hará mediante la captura de una carta de color colorchecker® en buen estado.

En la actualidad no disponemos de un estándar que regule los valores admitidos en cuanto a distancia de color entre el valor colorimétrico de cada parche y el valor conseguido en la imagen digital. Tenemos publicadas algunas iniciativas institucionales ya señaladas más arriba, como las de *Metamorfoze*, las del *Nationaal Archief* de Holanda o las directrices de FADGI, pero distan mucho de ser precisas y válidas para todo tipo de documentos o exigencias de calidad. No obstante, dada la sistemática de *Metamorfoze*, se tomarán sus pautas de calidad como criterio base de cumplimiento para aquellos aspectos no desarrollados por la normativa descrita en este documento.

La unidad de medida de calidad será la métrica de diferencia de color Delta E aplicada sobre el sistema de color CIELAB⁵². De acuerdo al estándar CIELAB, y a pesar de las limitaciones de esta métrica, un delta E de 1 podría ser percibido como una diferencia de color perceptible por un ser humano con salud visual. No obstante, entendemos que es imposible llegar a esta precisión en toda la gama cromática de las cartas de color con la tecnología de gestión de color y de captura de imágenes actual, por lo que se admitirán valores en *Delta E ab* acordes a las siguientes pautas:

- La media de todos los parches del Delta E ab no podrá ser superior a 3.
- No se admitirán valores máximos en la métrica anterior (contando todos los parches de la carta) de 8.

2.3.3.3 Balance de blancos

Los resultados del control del balance de blancos son indicativos de la calidad de la gestión de color realizada a la imagen digital, ya que muestran las desviaciones en el color sobre las zonas que tendrían que ser completamente neutras (grises). Este parámetro se calcula sobre los parches de gris de las cartas de control. Estos parches deben registrarse perfectamente grises en la imagen digital; en su defecto, la imagen presenta desviaciones de color. Estamos, por consiguiente, ante un parámetro de calidad cromática, que hemos aislado del anterior, en aras a la simplificación de los controles.

Hay múltiples formas de calcular la corrección del balance de blancos. A continuación ofrecemos la descripción de una de ellas, que puede aplicarse con el programa Imatest® con su módulo Colorcheck.

Se usará el cuarto gráfico del módulo ColorCheck. Se tomarán los valores de los 6 parches de grises de la carta colorchecker® en los parámetros:

- HSV Saturation. Mide el grado de saturación de la representación digital del parche en una escala de saturación entre el 0 y el 1. No se admitirán valores superiores a 0,02 en ninguno de los seis parches de gris.
- Degrees Kelvin [Mireds]. Mide la distancia en grados Kelvin (temperatura de color) entre los parches de gris de la ColorCheckr y la representación de esos parches en la imagen. El rango de valores admitidos entrará para todos los parches dentro de la horquilla +-40 K.

⁵² ISO 11664-4:2008 (CIE S 014-4/E:2007). Colorimetry -- Part 4: CIE 1976 L*a*b* Colour space.

Se pueden usar también los métodos descritos en otras especificaciones científicas para la captura de documentos patrimoniales⁵³. En este caso, se cumplirán los valores admitidos en el nivel de mayor calidad.

2.3.4 Calidad tonal y ruido

2.3.4.1 Rango dinámico

El rango dinámico de un dispositivo alude a la capacidad para registrar un rango de intensidades de luz. El rango dinámico está íntimamente relacionado con el concepto de Relación Señal-Ruido (*Signal to Noise Ratio*, o SNR) que establece la relación de señal o información respecto al ruido o ausencia de información. El rango dinámico se expresa habitualmente tomando como unidades los EV (*Exposure Values*) o la OD (densidad óptica). Para la evaluación de rango dinámico se usará una escala densitométrica, tanto para opacos como para traslúcidos.

Se pueden hacer pruebas visuales o automatizadas de este parámetro, tan fiables unas como otras, siempre que sean realizadas por un profesional suficientemente experimentado. Las pruebas visuales podrán usar cualquier tipo de carta fabricada por empresas especializadas y calibradas con densitómetros de alta calidad.

Si se opta por la prueba automatizada se hará con el programa Imatest® sobre una carta de parches de densidad, con un incremento de densidad entre parche y parche de 0,1 OD aproximado. En las pruebas para originales traslúcidos automatizadas se aplicarán cartas de densidades traslúcidas que tengan un incremento de densidad entre parche y parche de 0,1 OD aproximado, tal como la *Stouffer Transmission Step Wedge Part. No. T3110*⁵⁴ calibrada.

Para el cálculo automatizado puede emplearse el programa Imatest®. Este programa aporta el dato de rango dinámico tomando como unidad de medida el f-stop (EV). El programa permite calcular cualquier número de pasos de densidad.

El rango dinámico del dispositivo habrá de ser siempre superior al margen de densidades de la superficie de la obra a capturar; así se garantiza que todas las densidades de la superficie queden perfectamente registradas en la imagen digital. Presentamos a continuación los valores de referencia en este parámetro:

⁵³ Nos referimos a las tres especificaciones ya mencionadas: *Metamorfoze*, FADGI y las del *National Archief*.

⁵⁴ Podemos acceder a información sobre esta y otras cartas tonales en la Web del fabricante <http://www.stouffer.net/TransPage.htm>.

- Para copias fotográficas en blanco y negro o color, planchas de contacto o copia por contacto de fotogramas individuales, y negativos en color o blanco y negro el rango dinámico total (el que no considera el nivel de ruido de los parches medidos) del dispositivo de captura será igual o superior a 1,9 OD (6,31 f-stops/EV). El rango dinámico que considera la incidencia de ruido (medido en RMS) deberá entrar dentro de estos valores:
 - Alta calidad (RMS 0,1): 5,22 f-stops o más.
 - Alta-media (RMS 0,25). 5,65 f-stops o más.
 - Media (RMS 0,5). 6 f-stops o más.
- Para diapositivas en color y blanco y negro. Se contará al menos un rango dinámico igual o superior a 2,8 OD (9,3 EV o f-stops) con un nivel de alta calidad; 2,9 OD (9,6 EV) para el nivel de alta-media calidad; y 3 (10 EV) para el nivel de media calidad.
- Para diapositivas en color y blanco y negro. Se tendrá al menos un rango dinámico igual o superior a 2,8 OD (9,3 EV o f-stops) con un nivel de alta calidad; 2,9 OD (9,6 EV) para el nivel de alta-media calidad; y 3 (10 EV) para el nivel de media calidad.

2.3.4.2 Ruido

El ruido es una variación aleatoria de los valores de los píxeles. Como tal provoca la alteración de la información tonal y cromática de la imagen, mermando gravemente el registro fiel de la información del original.

Hay múltiples métricas para la medición del ruido. La más sencilla es la aplicación de la función estadística de desviación estándar sobre un área que debería haber sido registrada como de valor uniforme. Si se aplica esta medida estadística sobre el área de un parche de gris de una carta de control se puede obtener su valor de ruido. Mientras mayor sea este valor mayor ruido habrá. Esta medida se puede hacer desde un editor de imágenes, como Adobe Photoshop®. Se trata de seleccionar el cuadrado del parche y visualizar el histograma, que dará como uno de sus datos el valor de la desviación estándar. Si se aplica esta medida de ruido, puede tomarse como referencia 4 valores de píxel de *Metamorphoze* en una escala de medición de 8 bits (de 0 a 255), aplicado a todos los parches de densidad de una carta Q13, debiéndose seleccionar el rectángulo completo del parche sin incluir las zonas de borde.

Se pueden hacer mediciones más automatizadas con programas como Imatest®, que admitirán el uso de diferentes métricas de este parámetro. Los procesados tonales y cromáticos suelen alterara el valor original del ruido que presenta la imagen a la salida del sensor, especialmente en las zonas de luces y sombras. Por este motivo es más preciso el uso de parches de

densidad media para medir este valor; además es en esas zonas de densidad donde mejor percibe el ojo humano el ruido.

Por el motivo comentado en el párrafo anterior, se recomienda el uso de la métrica que aporta el programa Imatest® denominada como ruido medio del canal de Y (luminancia), medida en píxeles, que excluye densidades mayores de 1,5 o inferiores a 0,1. Los resultados se expresan como porcentajes de ruido en los canales R, G, B e Y. En esta métrica sólo se admitirán valores de ruido en Y inferiores a 1.

2.3.4.3 Contraste. OECF

OECF (*Opto-Electronic Conversion Function*) nos da noción de la calidad en la transferencia de la información en términos densitométricos desde la imagen original hasta la imagen digital, al relacionar el valor de densidad de cada parche de gris en una carta de control tonal con la representación digital obtenida.

A través de los resultados de esta función se pueden conocer determinados problemas tonales que pueden provocar que el registro de la imagen digital se aleje de las características gráficas de la obra original, tales como no-linealidad de los sensores de las cámaras digitales o escáneres, problemas de exposición, manipulaciones de contraste, etc.

Hay diferentes alternativas para conocer la calidad de este tipo de transferencia. Una de ellas es calcular la OECF según se describe en la norma ISO 14524:2009 *Photography -- Electronic still-picture cameras -- Methods for measuring opto-electronic conversion functions (OECFs)*. Consiste en representar el valor de L^* promedio de cada parche de densidad de la carta tonal usada como una función de las densidades ópticas de esos parches, superponiendo la curva ideal representada por los valores L^* ideales que deberían tener estos píxeles. La diferencia entre ambas curvas dará desviación entre el registro digital real obtenido y el registro teórico ideal que debería haber sido obtenido. Para aplicar esta función se necesita conocer el valor de densidad óptica de cada parche de la carta tonal usada y el valor L^* (CIELAB) correspondiente en el espacio de color de la imagen digital obtenida. Los fabricantes de las cartas suelen aportar estos datos, o en su defecto se pueden obtener mediante el uso de un densitómetro o colorímetro que los aporte. Para conocer los valores ideales correspondientes a cada parche de densidad en diferentes espacios de color para las cartas de uso convencional (Q13 o colorchecker classic®) se pueden usar las tablas que aportan las *Metamorfoze Preservation Imaging Guidelines*⁵⁵. También se puede usar la información

⁵⁵ La tabla de correspondencias de valores RGB de diferentes espacios de color con valores L^* se puede obtener en la página 42 de las directrices de *Metamorfoze* ya citadas, en la tabla “Metamorfoze exposure tolerance ΔL^* 2, Object-Level Target neutrals. Overview of the theoretical L^* values and theoretical 8 bit pixel values”.

aportada por Danny Pascale en su documento *RGB coordinates of the Macbeth Colorchecker*⁵⁶.

En el caso de aplicarse la OECF se deberá obtener el valor promedio de desviación de L^* real y L^* teórico contando con cada parche de densidad de la carta. Sólo se admitirán promedios de desviación ubicados en el margen -5 y 5.

Otra alternativa es usar la función de *Imatest*[®] *Density response for all channels*, que aporta la curva OECF. La desviación puede calcularse para cada parche de densidad a través del fichero de datos que aporta el propio *Imatest*[®]. El gráfico muestra la luminancia obtenida en la imagen digital por cada valor de densidad de los parches de gris de la carta de control usada y con respecto al valor de luminancia ideal teórico que debería haber sido obtenido. Un buen rendimiento en OECF debe hacer coincidir los puntos de color rosa con los círculos grises, tal y como vemos en el siguiente ejemplo:

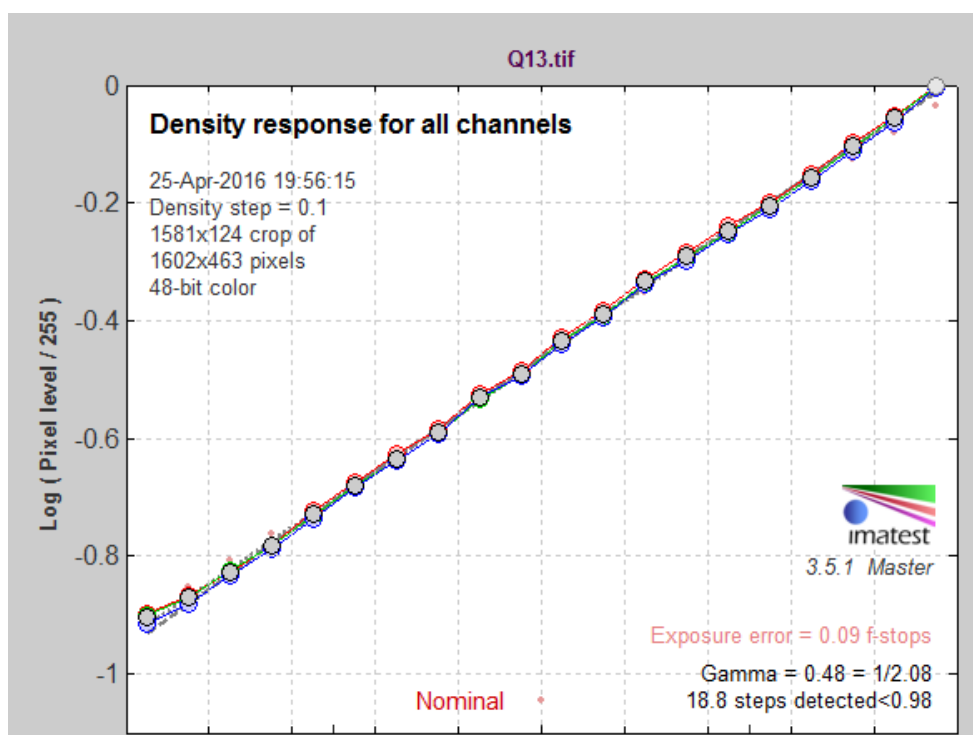


Figura 30. Gráfico OECF proporcionado por el programa *Imatest*[®]

Otro cálculo alternativo a la función Modulación de ganancia (*Gain Modulation*). Esta función aparece descrita en las directrices de *Metamorfoze*

⁵⁶ Disponible en

http://www.babelcolor.com/index.htm_files/RGB%20Coordinates%20of%20the%20Macbeth%20Colorchecker%20.pdf. En la Web de BabelColor pueden encontrarse interesantes trabajos sobre esta carta http://www.babelcolor.com/colorchecker-2.htm#CCP2_data, así como un software comercial de gran utilidad para hacer análisis complejos del color de las imágenes.

ya citadas⁵⁷. Lo que hace esta función es calcular cómo se transfiere a la imagen digital el valor de diferencia en luminancia entre dos tonos concretos de densidad de una carta de densidades. Su valor se da en forma de tanto por uno⁵⁸. Este valor expresa la diferencia entre lo que tendría que haber sido para considerarse correcto y lo que se ha conseguido en la imagen digital que se evalúa. La ecuación de cálculo es:

$$\text{gain modulation} = \frac{L^*_{s(i)} - L^*_{s(i+1)}}{L^*_{\text{ref}(i)} - L^*_{\text{ref}(i+1)}}$$

Donde S denota el valor de luminosidad (L^*) en la imagen digital de los parches de densidad, ref el valor L^* de referencia (es decir, el valor ideal de L^*), e (i) el parche de densidad usado para la medida. El siguiente parche de densidad usado para la medida se denota como (i+1), que debe ser más oscuro que el parche (i).

Si los valores sobrepasan el 1 (o 100%) significa que la diferencia de luminancias entre los dos parches de referencia es mayor en la imagen que en la referencia. Si los valores entran en el rango entre 0 y 1 (o entre 0 y 100%) significa que la diferencia de luminancias entre los dos parches de referencia es menor en la imagen que en la referencia. En el primer caso estaríamos ante un aumento artificial del contraste de la imagen digital y en el segundo viceversa.

Metamorfoze da como valores de aceptación de referencia para este parámetro el rango 80% - 108%. Que puede ser tomado como referencia en este proyecto.

El cálculo de modulación de ganancia puede hacerse para cualquier rango de dos tonos, en cualquiera de las zonas tonales de la escala de grises de la carta de control tonal: luces, medios tonos o sombras. En este proyecto se hará de las diferencias de los seis parches de grises consecutivos de la carta colorchecker®, que supone cinco valores de modulación, como vemos en la siguiente imagen:

⁵⁷ En las páginas 19 y 20.

⁵⁸ Para transformarlo en porcentaje se multiplica por 100.



1. Del 19 al 20.
2. Del 20 al 21.
3. Del 21 al 22.
4. Del 22 al 23.
5. Del 23 al 24.

Se tomarán los valores de L^* de la imagen y de los parches de gris de la carta. Se usará la carta de color colorchecker®, en concreto, la fila de parches de gris. El fabricante de la carta aporta los valores CIELAB de cada parche⁵⁹ y los valores CIELAB de sus representaciones digitales pueden ser obtenidos directamente desde el editor Adobe Photoshop®⁶⁰ con la herramienta cuentagotas.

Imatest® aporta un gráfico que permite hacerse una idea visual de este parámetro, es el denominado Local Contrast (accesible desde la función Stepchart), del que ponemos un ejemplo a continuación.

⁵⁹ En la actualidad pueden ser obtenidos en http://xritephoto.com/ph_product_overview.aspx?ID=824&Action=Support&SupportID=5159. Lo ideal sería conseguir estos valores mediante el uso de un colorímetro, ya que serán más precisos que los aportados por el fabricante.

⁶⁰ Los espacios de color CIELAB son coincidentes en Photoshop® y en los datos de referencia que aporta el fabricante de la carta colorchecker®: LAB D50 2 degree observer. Si se usara un colorímetro habrá que obtener los valores L^* de LAB D50 2 degree observer, para poder usar la función mencionada de Adobe Photoshop®.

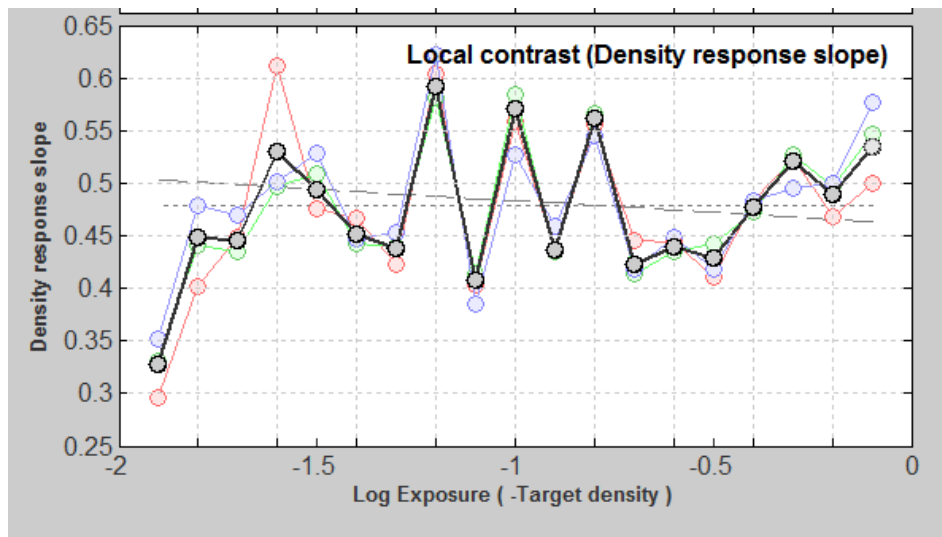


Figura 31. Gráfica *Density Response* del programa Imatest®

Para un análisis visual de los parches de la carta de densidades modelo Q13, esto es con 20 parches en incremento de 0,1 OD desde 0,05 OD hasta 1,95 OD, podrá tomarse como referencia la tabla aportada por el Archivo Nacional de Holanda en sus directrices de captura de materiales fotográficos⁶¹, que reproducimos a continuación, como tabla I, así como su nivel de exigencia.

Esta tabla es válida para imágenes convertidas al espacio Adobe RGB, con gamma 2,2. Y los valores vienen dados en escala de 8 bits por canal. Como se aporta un solo valor, para hacer la evaluación sobre la tabla será preciso convertir la imagen en color al espacio grey gamma 2,2, con propósito de conversión relativo colorimétrico.

⁶¹ Nationaal Archief. *Digitisation of photographic materials. Guidelines*. September 2010. URL: http://www.nationaalarchief.nl/sites/default/files/docs/guidelines_digitisation_photographic_materials.pdf. La tabla ha sido reproducida exactamente como aparece en este documento.

Kodak Gray scale	Density	Reflection value	Theoretical pixel value	Maximum permitted pixel value (+ $\frac{1}{12}$ stop)	Minimum permitted pixel value ($-\frac{1}{12}$ stop)	Minimum permitted pixel value - 3 pixel values
A [0]	0.05	0.891	242	248	236	233
1	0.15	0.708	218	224	212	209
2	0.25	0.562	196	201	191	188
3	0.35	0.447	177	181	172	169
4	0.45	0.355	159	163	155	152
5	0.55	0.282	143	147	140	137
6	0.65	0.224	129	133	126	123
M [7]	0.75	0.178	116	119	113	110
8	0.85	0.141	105	108	102	99
9	0.95	0.112	94	97	92	89
10	1.05	0.089	85	87	83	80
11	1.15	0.071	77	79	75	72
12	1.25	0.056	69	71	67	64
13	1.35	0.045	62	64	60	57
14	1.45	0.035	56	57	54	51
15	1.55	0.028	50	52	49	46
B [16]	1.65	0.022	45	47	44	41
17	1.75	0.018	41	42	40	37
18	1.85	0.014	37	38	36	33
19	1.95	0.011	33	34	32	29

Tabla I. Correlación entre densidades ópticas y valores de píxel, de acuerdo al Archivo Nacional de Holanda en sus directrices de captura de materiales fotográficos (reproducida literalmente del original)

2.3.4.4 Tolerancia/error de exposición

Este parámetro mide el error de exposición durante la captura y registro de la imagen digital. Este valor no sólo depende de la corrección del ajuste de exposición en el dispositivo de captura mediante la selección del tiempo de exposición y la abertura del diafragma, sino también del procesado tonal postcaptura que se aplica a la imagen.

En realidad estamos ante una prueba de control de calidad del registro tonal más que de control de una buena configuración del valor de exposición en la cámara fotográfica digital, pues unos valores incorrectos de exposición en la captura pueden ser compensados a nivel tonal por la aplicación de procesos de ajuste tonal o de gestión de color sobre la imagen digital capturada o viceversa. Pero la aplicación de este tipo de compensaciones no mejorará los problemas que puede llegar a causar un ajuste de exposición en la cámara incorrecto, tales como pérdida de información tonal en las zonas de sombra o de luces o el incremento de ruido visible en los tonos de sombra. Por ello, podemos tener una imagen incorrectamente expuesta, con defectos graves de ruido y posterización en zonas de sombra o con pérdida de detalle en

zonas de luces y pasar esta prueba al haberse compensado este error suficientemente con ajustes tonales postcaptura o con la aplicación de un perfil de color. Por este motivo, este parámetro no podrá ser tomado como indicador de calidad de manera aislada, debiéndose acompañar por un buen rendimiento en el resto de parámetros de calidad tonal y de ruido.

En esta prueba se dar por hecho que la exposición correcta equivale a la que lleva una superficie con una reflectancia/transmitancia del 18% a un valor L de CIELAB 50 estando la imagen en un espacio de color absoluto definido. Esto es correcto si, como indicamos en los párrafos precedentes, consideramos que la exposición no alude a la configuración del valor de exposición en la cámara (tiempo de obturación y abertura de diafragma) sino a la adecuación del registro de los niveles de densidad del original a capturar en la imagen digital. Durante la toma no necesariamente siempre se debe aplicar una exposición calculada para una superficie de 18% de reflectancia/transmitancia, pues este valor de exposición puede ser insuficiente ante originales con mucha información en zonas muy densas, o excesivo para el caso contrario. El operador de captura que use un dispositivo de captura que le permita variar el valor de exposición deberá ajustar este valor para conseguir meter el margen de densidades del original dentro del rango dinámico del dispositivo, y generando una distribución tonal que evite la posterización y ruido de las zonas de sombra o el recorte tonal de las luces. Este objetivo le puede llevar a tener que sobreexponer la captura ante originales en clave baja, que presentan un predominio de información en zonas muy densas, o a subexponerla ante originales en clave alta, sin que deba ser considerado que se está produciendo un error de exposición si posteriormente al aplicar un procedimiento de gestión de color se reajusta la escala tonal de manera que se consiga una curva OECF correcta.

Esta práctica, comúnmente denominada como “derecheo” o “izquierdeo” del histograma, puede provocar una merma en la calidad cromática de la imagen, debido a que la mayor o menor luminosidad afecta al color. Pero sólo se producirá este problema si la imagen digital RAW se procesa con una salida no lineal. Si el fichero RAW se procesa linealmente no se permitirá que se produzca ninguna merma de registro de color significativa. Una vez procesado el fichero RAW y conseguido una imagen TIFF lineal, la escala tonal se reajustará para conseguir unos valores de luminosidad correctos automáticamente mediante la creación de un perfil de color. Esta imagen lineal con perfil de color podrá posteriormente ser convertida al espacio de color elegido para el máster o derivada sin ninguna merma de calidad tonal o cromática.

El error de la exposición se puede evaluar de múltiples formas. Una manera sencilla es a través de Imatest®, que presenta varias funciones para ello. Una de ellas es el módulo ColorCheck. En el cuarto gráfico ofrece el dato de error de exposición tomando como unidad el valor de exposición (EV o f-stops). No se admitirán errores mayores a 0,2 EV (f-stops).

2.3.4.5 Recortes tonales en luces y sombras

Hablamos de recorte tonal cuando se pierde información gráfica en las zonas más claras o más oscuras de la imagen al igualarse a blanco puro o negro puro. Por ejemplo, en la imagen que presentamos en la figura 32, que ha sido escaneada con una carta de parches de gris, podemos apreciar recorte en zonas claras y oscuras. En esas zonas se ha perdido información y en su lugar aparecen amplias superficies de color blanco o negro puro. Podemos apreciar bien esto en la carta de grises, donde se han perdido escalones de grises.

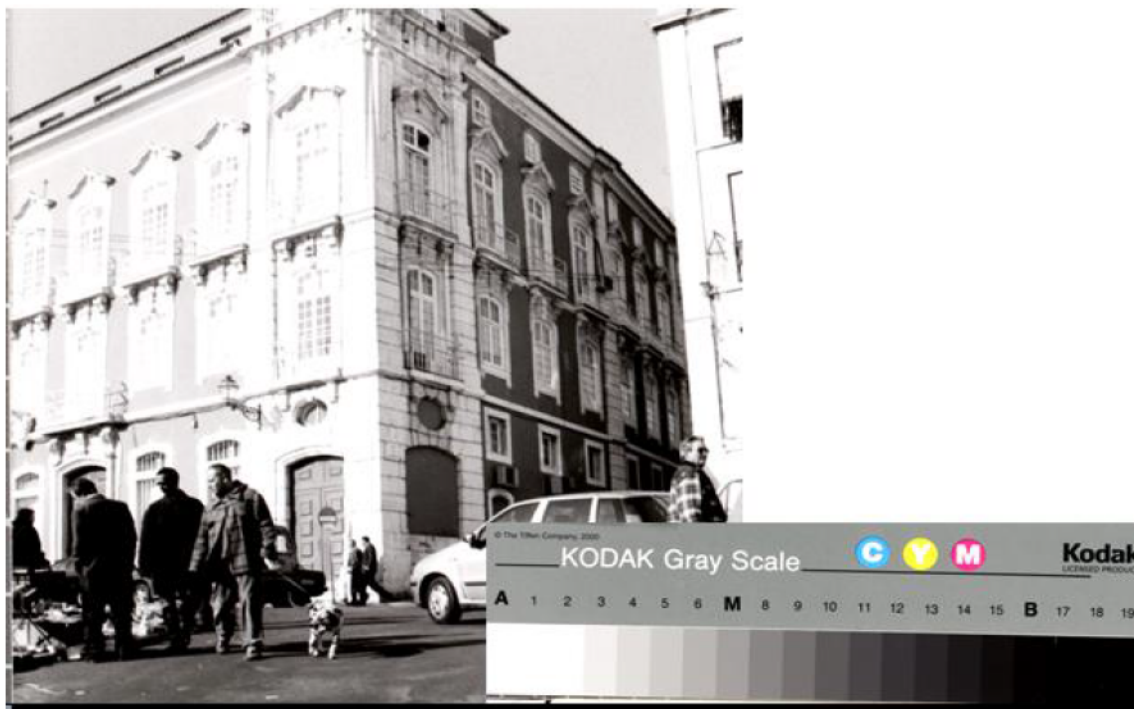


Figura 32. Ejemplo de recorte tonal en una fotografía

Las causas más usuales de los recortes tonales es el defecto de rango dinámico del dispositivo de captura o la aplicación de ajustes de histograma con la finalidad de realzar el contraste de la imagen.

No se admitirá en ningún caso recortes tonales en el rango de densidades 0,05 OD a 1,95 OD para materiales opacos. Esto significa que deben poder ser diferenciados visualmente o mediante una herramienta tipo cuentagotas (que aporta el valor de luminosidad L^* (CIELAB) los 20 parches de una escala de densidades tipo Q13. Ante materiales traslúcidos, se tendrán que diferenciar, obligatoriamente, los parches que entran dentro del rango dinámico del dispositivo de captura, una vez averiguado este dato. El programa Imatest® ofrece una función para automatizar este control, en su módulo Stepchart, en concreto en su gráfico *Density response*. En la siguiente

imagen ponemos un ejemplo de este gráfico, tras haber ejecutado la función Density response sobre una carta Q13. El gráfico revela que el parche más denso de esta carta no ha sido reconocido.

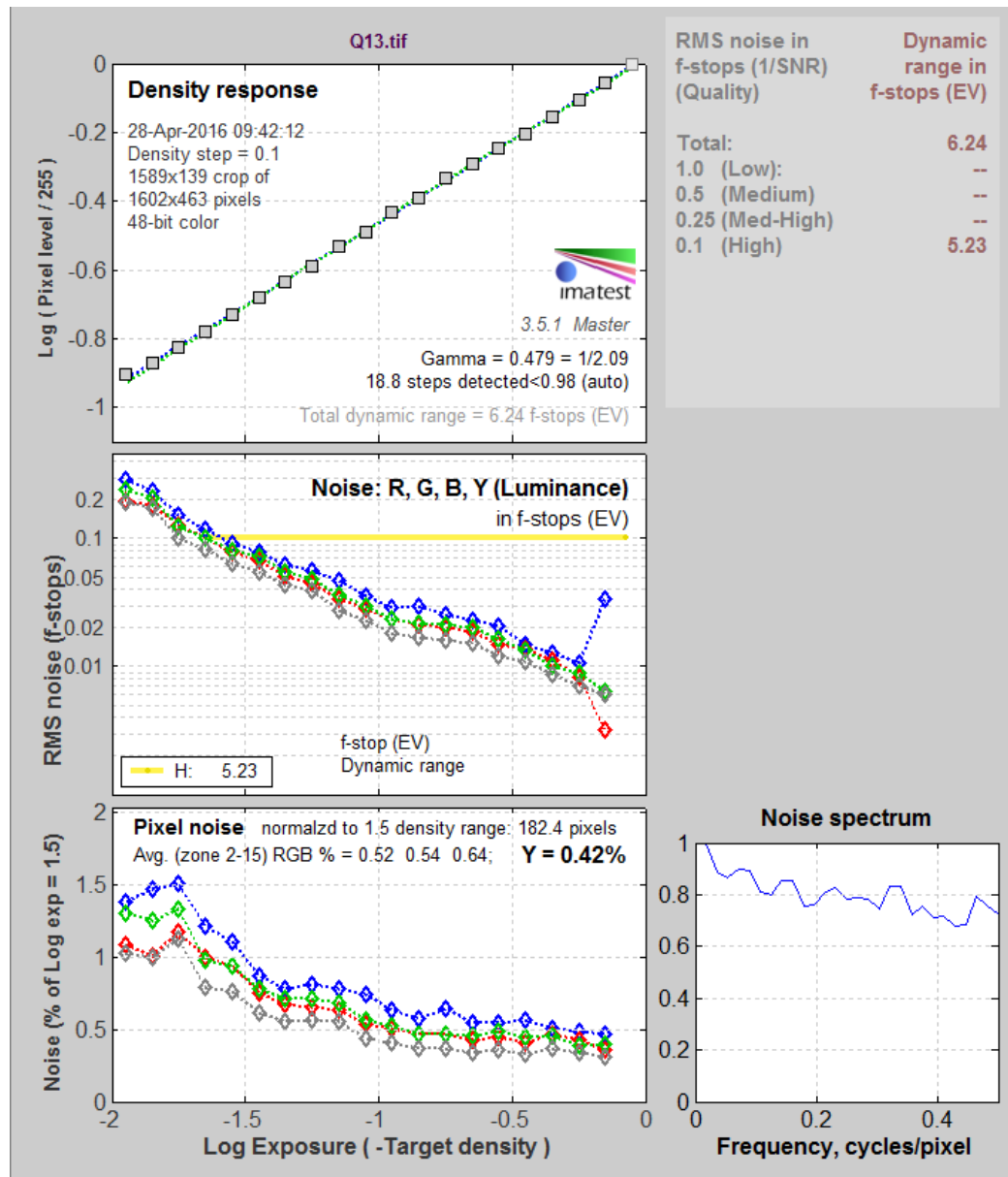


Figura 33. Gráficos del módulo Stepchart de Imatest

Cuando el problema radique, como en este ejemplo, en la falta de reconocimiento del parche más denso, se hará una evaluación con cuantagotas complementaria, consistente en evaluar si hay cambio de valor L^* (CIELAB) promedio entre el parche más denso y el inmediatamente anterior (un paso menor de densidad). El cuantagotas se configurará con un tamaño de 31 píxeles y se hará ubicar justo en el centro del parche. Si el cuantagotas revela una diferencia de al menos 1 de L^* , se dará por válida la prueba.

2.3.5 Calidad óptica

Alude a la capacidad del sistema de registro para obtener información a nivel espacial (entendida como cambios de densidad óptica) en el plano bidimensional y sin distorsiones. Los principales problemas relacionados registro de este tipo de información son:

- Falta de capacidad resolutive del sistema de captura y procesado de la señal digital. Se manifiesta en la ausencia de detalles de pequeño tamaño en la imagen digital que están presentes en los objetos a capturar, o si aparecen éstos están poco definidos.
- Aparición de artefactos. Son elementos gráficos que aparecen en las imágenes digitales pero que no se corresponden con la información original o que haciéndolo manifiestan una deformación evidente. Un ejemplo de artefacto a nivel espacial son los patrones de *aliasing*, que se manifiestan como la aparición de patrones gráficos (inexistentes en la superficie capturada) sobre áreas que presentan altas frecuencias espaciales.

Los defectos propios de las lentes y objetivos fotográficos que suelen derivar en este tipo de problemas son, comúnmente:

- Aberraciones. Diferenciamos dos tipos:
 - Cromáticas. Provocan la presencia de halos de color alrededor de las zonas de borde. Pueden ser laterales o longitudinales.
 - Ópticas. Provocan enfoque desigual en toda la superficie de captura, porque el sistema óptico acoplado al dispositivo de captura es incapaz de enfocar toda la superficie del documento en un mismo plano, por lo que o bien todo o parte del documento aparece fuera de foco. Suelen tener presencia en objetivos fotográficos poco corregidos o de peor calidad: aberración esférica, astigmatismo, coma y curvatura de campo.
- Distorsiones ópticas (también denominadas dimensionales o geométricas). Este tipo de distorsiones provoca la modificación de las

proporciones geométricas y formas de lo representado en la imagen. Son comunes la distorsión en barril y en cojín (*pincushion*).

Hay otros defectos de los objetivos que pueden manifestarse más como defectos en el color y contraste, salvo que puedan incidir en pérdida de detalle espacial además, como son el viñeteado o la presencia de reflejos internos y la luz parásita (*flare*).

Dentro de la amplia gama de problemas de tipo óptico, el control de calidad se centrará en dos factores que permiten medir la incidencia de este tipo de inconvenientes: la capacidad resolutive y la presencia de distorsiones dimensionales y aberraciones cromáticas.

2.3.4.1 Corrección de la tasa de muestreo

Esta medida ofrece información sobre la adecuación de la resolución espacial de captura obtenida en la imagen con el valor de esta variable especificado para la captura. Los dispositivos de captura normalmente incorporan en los metadatos técnicos el valor de la resolución espacial de captura en píxeles por pulgada. No obstante este valor puede ser cambiado a posteriori, de manera que una imagen capturada a menor resolución pueda ser pasada por haber sido captura a una mayor resolución.

La comprobación se puede hacer sobre una línea de longitud conocida. Se trata marcar una pulgada o una fracción de esta y contar a través de un editor de imágenes los píxeles de la línea. Con editores que ofrecen datos de las coordenadas de cada píxel de la imagen esta comprobación se puede realizar en unos pocos segundos con gran facilidad.

2.3.4.2 Capacidad resolutive

La capacidad resolutive mide la capacidad del dispositivo de captura para registrar el detalle a nivel espacial. Por ejemplo, una mala capacidad resolutive deriva en que los detalles icónicos más finos de la imagen física no se registran en la imagen digital correspondiente.

Para evaluar este parámetro se calcularán, en primer lugar, los pares de línea por milímetro que deben quedar bien registrados a la resolución espacial de captura (medida en ppp) que se aplique a los documentos que van a ser capturados por el dispositivo. Para ello se utilizará la siguiente ecuación:

$$\text{Pares de Líneas/mm} = \text{Resolución Espacial} / 50,8 / \text{Factor de calidad.}$$

El factor de calidad bajo equivale a la frecuencia de Nyquist, esto es, un píxel por línea, por lo que es igual a 1; el mediano a 1,5 píxeles por línea, siendo igual a 1,5; el bueno equivale a 2 píxeles por línea, siendo igual a 2; el excelente equivale a 3 píxeles por línea, siendo igual a 3.

El uso del factor de calidad de bajo (1 píxel por línea de la carta de resolución usada para la medida de calidad) como referencia de calidad es muy problemático, debido a la poca probabilidad de que haya una alineación perfecta entre la línea y el píxel (el elemento fotosensible individual) del sensor. Y el que se produzca o no esta alineación no tiene nada que ver con la calidad del sistema de registro. Este fenómeno lo podemos ver ilustrado en la siguiente imagen (figura 34), donde las flechas representan los píxeles del sensor y las filas de cuadrados un posible patrón de líneas de una carta de resolución de este tipo⁶².

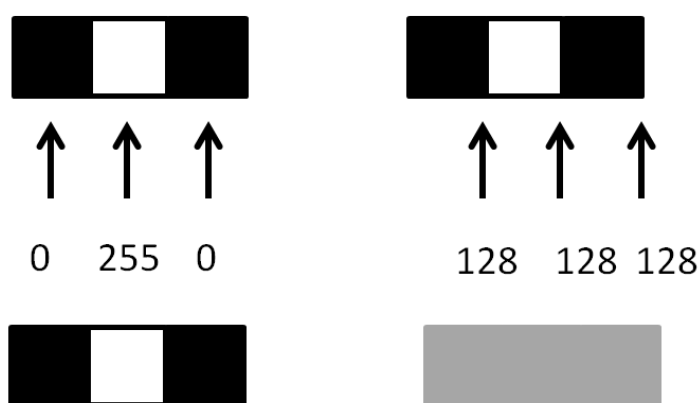


Figura 34. Representación del problema de la alineación de los elementos fotosensibles del sensor de imagen con el detalle gráfico

En la siguiente tabla (tabla II) ofrecemos los valores para resoluciones espaciales típicas.

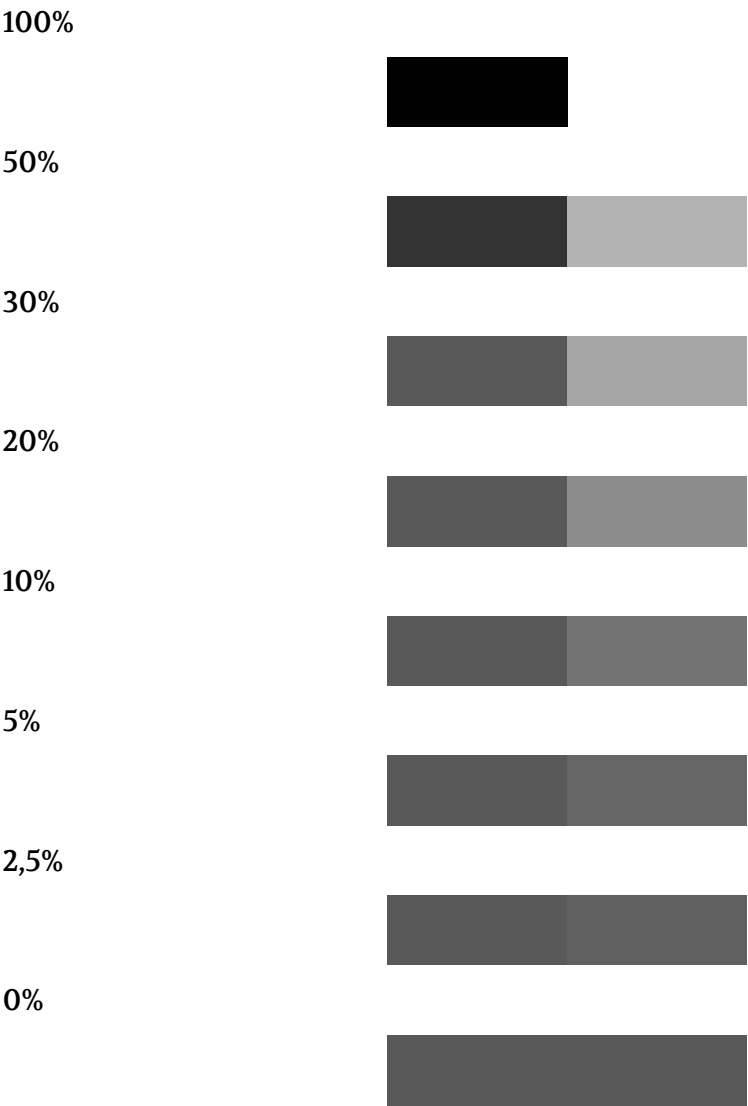
Resolución espacial	Pares de línea por milímetro		
	Baja calidad	Mediana calidad	Buena calidad
200 ppp =	3,9	2,6	2
300 ppp =	5,9	3,9	2,9
400 ppp =	7,9	5,2	3,9
600 ppp =	11,8	7,8	5,8

⁶² Ejemplo tomado de Franziska S. Frey y James M. Reilly. *Digital Imaging for Photographic Collections Foundations for Technical Standards*. Second Edition. Rochester: RIT, 2006, p. 22.

1200 ppp =	23,6	15,6	11,6
2400 ppp =	47,2	31,2	23,2

Tabla II. Valores para resoluciones espaciales típicas

Posteriormente se aplicará una prueba objetiva de MTF (*Modulation Transfer Function*) a todas las resoluciones de captura que se vayan a aplicar con el dispositivo. MTF mide la calidad en la transferencia del contraste entre detalles gráficos consecutivos de alto contraste. Veamos lo que representa el valor de MTF visualmente. Incluimos contrastes relativos (MTF) del 100%, 50%, 30%, 20%, 10%, 5%, 2,5% y 0% a continuación, que reflejan la transferencia de contraste de un patrón físico de alto contraste consistente en una línea ideal y perfectamente blanca (refleja el 100% de la luz recibida) seguida de otra ideal y perfectamente negra (no refleja nada de la luz incidente):



A MTF 50% se transfiere el 50% del valor de contraste de partida, por lo que si el contraste de partida es alto el ojo humano aún detecta bien el detalle visual de pequeño tamaño. El límite teórico máximo de percepción del detalle es de aproximadamente MTF 9% o 10%, para un detalle visual de pequeño tamaño.

Esta prueba se realizará mediante un sistema automatizado sobre una carta específica para MTF. Podrá usarse el programa Imatest®, en su función SFR.

Como guía ofrecemos los rangos de valores de MTF correspondientes a los tipos de calidades:

- Bajo [1 píxel por línea o 0,5 Cy/px] = en torno a MTF10%;
- Mediano [1,5 píxeles por línea o 0,33 Cy/px] = MTF10%-30%;
- Bueno [2 píxeles por línea o 0,25 Cy/px] = en torno a MTF50%
- Excelente [3 píxeles por línea o 0,17 Cy/px] = entre MTF60%-70%.

Por ejemplo, para 200 ppp la frecuencia 3,9 debe dar un valor de MTF en torno a 10%; para 1,97 en torno a MTF50%. Y MTF entre 20% y 30% para frecuencia 2,6. Y para frecuencia 1,31 un MTF entre el 60% y el 70%.

Para la prueba se tomará como referencia el factor de calidad bueno, debiéndose obtener un valor de pares de línea por milímetro a MTF50% en la prueba de SFR que se corresponda a lo que debería darse a nivel teórico para la resolución en ppp con este factor de calidad. No se admitirán desviaciones mayores a:

- 0,1 pares de líneas por milímetro para 200 ppp
- 1 par de líneas por milímetro para 300 ppp
- 1 par de líneas por milímetro para 400 ppp
- 1,1 pares de líneas por milímetro para 500 ppp
- 1,2 pares de líneas por milímetro para 600 ppp
- 1,3 pares de líneas por milímetro para 800 ppp
- 2 pares de líneas por milímetro para 1200 ppp
- 4 pares de líneas por milímetro para 2400 ppp

Se tomará también como referencia el valor de MTF obtenido para la frecuencia de Nyquist, que coincide con los pares de línea por milímetro que se corresponden con un número de líneas por pulgada idéntico a la resolución espacial en píxeles por pulgada de captura (ppp). Esto es, un píxel para cada línea de la carta de resolución. La ecuación para el cálculo de la frecuencia de Nyquist será:

Frecuencia de Nyquist = $\text{ppp}/50,8^{63}$

Por ejemplo, si la captura se hace a 600 ppp la frecuencia de Nyquist será de 11,81 pares de línea por milímetro, o lo que es lo mismo 600 líneas por pulgada.

A la frecuencia de Nyquist el valor de MTF no podrá ser superior al 10%. Equivale al factor de calidad Bajo. Valores superiores a esta cantidad son indicativos de la aparición de problemas de *aliasing* provocados por la aplicación de procesados no lineales a la imagen durante la captura o tareas de edición posteriores. Este tipo de procesados puede provocar artefactos visuales que mermen la necesaria fidelidad de la imagen digital con respecto a la obra capturada. Este dato puede obtenerse a través del programa Imatest®, en su módulo SFR. Ponemos un ejemplo de datos y gráficos ofrecidos por Imatest® que pueden ser usados para hallar los valores de capacidad resolutive aquí exigidos.

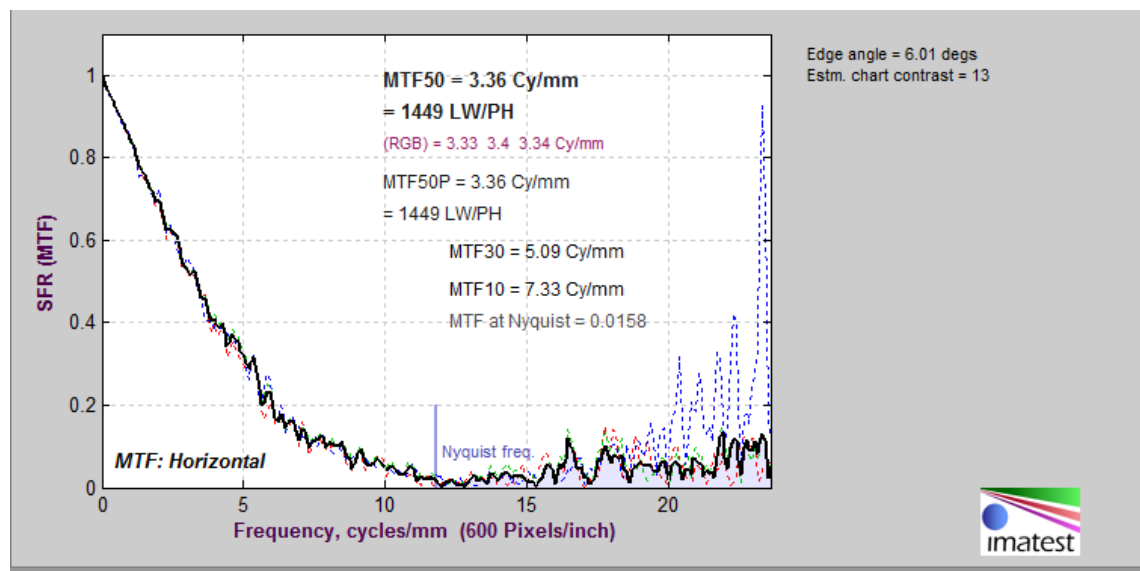


Figura 35. Gráfico SFR de Imatest®

Se trata de una captura de una carta de resolución a 600 píxeles por pulgada. De acuerdo a los datos que ofrece este gráfico a la frecuencia de Nyquist el valor de MTF es de 0,0158 medido en tantos por uno (1,58%), por lo que pasaría la prueba en este parámetro al no ser superior al 100%. No obstante no pasaría el parámetro MTF50, ya que este valor debería darse a 5,9 pares de

⁶³ La constante 50,8 es un divisor que convierte líneas por pulgada en pares de líneas por milímetro. Se usa normalmente la unidad pares de líneas por milímetro en lugar de líneas por pulgada, que sería más intuitivo, porque los programas de cálculo de capacidad resolutive suelen utilizar la primera.

línea por milímetro y no a 3,36, siendo la desviación con respecto a este valor 2,54, muy lejos del 1,2 permitido. El valor de MTF10 que ofrece en este gráfico Imatest® es de gran utilidad, ya que es indicativo de la resolución en ppp real del escáner. Esta resolución real se suele denominar comúnmente como *limiting resolution*. Para tener este dato aplicamos la siguiente ecuación:

$$\text{Resolución (ppp) real} = \text{pares de línea por mm a MTF10} * 50,8^{64}$$

Consiguientemente, el valor real de resolución (*limiting resolution*) del ejemplo anterior será igual a $(7,33 * 50,8)$ 372 ppp, muy lejos de los 600 ppp aplicados.

El porcentaje de eficiencia en capacidad resolutive (denominada habitualmente como *sampling efficiency*) puede ser calculado mediante el cálculo del porcentaje que representa el valor de pares de línea por milímetro obtenido a MTF10 con respecto a la frecuencia de Nyquist expresada en esta misma unidad de medida. La frecuencia de Nyquist es la resolución máxima teórica alcanzable por un sistema de registro de imágenes y coincide con el número de líneas por milímetro (lpmm) que coincide con el número de píxeles por milímetro a que se muestrea el objeto a capturar. La ecuación, utilizando la unidad más habitual de líneas por milímetro (lpmm), sería:

$$\% \text{ de eficiencia en capacidad resolutive} = (\text{Frecuencia a MTF10 en lpmm} / \text{Frecuencia en lpmm correspondiente a la resolución de Nyquist}) * 100.$$

La Frecuencia en lpmm correspondiente a la resolución de Nyquist se calcula dividiendo la resolución espacial en píxeles por pulgada entre 50,8.

Este parámetro es usado en algunas especificaciones de calidad, como, por ejemplo, en *Metamorfoze*. En el ejemplo anterior, el % de eficiencia sería igual a:

$$(7,33 / 11,81) * 100 = 62,06\%$$

La métrica anterior se basa en la idea de que un sistema hace un buen muestreo si es capaz de que el MTF10% se ubique en la frecuencia de Nyquist, esto es, en un píxel por línea más fina registrable a la resolución de captura. Esta idea es criticable, ya que la frecuencia de Nyquist en un sistema de captura discretizado (basado en píxeles), es difícilmente alcanzable en la práctica, ya que supondría que cada píxel de sensor (elemento de sensor) se alinea perfectamente en cada línea, mientras que la probabilidad de esa

⁶⁴ La constante 50,8 permite pasar cuando se multiplica por ella de la unidad pares de línea por mm a la unidad líneas por pulgada.

alineación perfecta es muy baja. Por ello, nos parece más práctico y realista tomar como referencia los valores de MTF relacionados con las frecuencias espaciales a una resolución de captura determinada que corresponden a factores que consideran el número de píxeles por línea más fina registrable siendo este número mayor a uno, tal y como referíamos más arriba:

- Mediano [1,5 píxeles por línea o 0,33 Cy/px] = MTF10%-30%;
- Bueno [2 píxeles por línea o 0,25 Cy/px] = en torno a MTF50%
- Excelente [3 píxeles por línea o 0,17 Cy/px] = entre MTF60%-70%.

Para los materiales traslúcidos se puede realizar una evaluación visual mediante la carta *Danés Picta*® FS1 de 35 mm. En este caso, la evaluación no se hará mediante una prueba MTF sino a través de la valoración visual de que quedan resueltos los pares de línea por pulgada que deben hacerlo a las resoluciones de captura a las que se vaya a usar el dispositivo, de acuerdo con la ecuación ya referida más arriba (Pares de Líneas/mm = Resolución Espacial / 50,8 / Factor de calidad.)

Se tendrá que hallar tanto para materiales opacos como para traslúcidos, los valores de los parámetros a medir tanto en la vertical como en la horizontal. En ambos casos se deberán conseguir los valores admitidos para considerarse que la imagen pasa la prueba de calidad.

2.3.4.3 Aberración cromática lateral

Este parámetro mide la cantidad de aberración cromática presente en una imagen. Este problema suele ocurrir en las zonas cercanas a los bordes de la imagen. Se debe a un problema de calidad de las lentes de los objetivos de los dispositivos de captura o a un defecto de procesamiento de las imágenes RAW en capturas en las que se aplica un sensor tipo Bayer. Cuando se trata de un problema de las lentes, se produce porque el índice de refracción del vidrio de las lentes varía con la longitud de onda de la luz. El objetivo es incapaz de ubicar sobre el mismo punto las diferentes longitudes de onda de la luz que porta la imagen, de esa forma crea un reborde de colores rojo, verde, azul, cian, magenta o amarillo alrededor del borde de los objetos de la imagen. Es un problema relativamente frecuente e imposible de eliminar completamente sin distorsionar seriamente la imagen, incluso en equipos de alto precio. Por este motivo, siempre hemos de asumir algo de aberración cromática.

Se pueden usar varias métricas para cuantificar la aberración cromática lateral presente en una imagen sobre la imagen de una figura rectangular de color sólido digitalizada. Se recomienda el uso del programa Imatest®, en la función SFR, que aporta datos de aberración cromática resultado de la aplicación de varias métricas. En concreto se usará la medida CA (área) que

calcula el área de la aberración cromática en píxeles. Se usará esta escala de valores para el área de la aberración cromática:

- Menos de 0.5. No significativo.
- 0,5 a 1. Menor.
- 1 a 1,5. Moderado.
- 1,5 o superior. Severo.

Se admitirá sólo afectación menor o no significativa.

2.3.4.4 Distorsiones geométricas

Producen deformaciones dimensionales (documentos deformados, ancho o alto comprimido o expandido, etc.) Las líneas rectas se curvan hacia adentro o hacia afuera cerca de los bordes. Las dos más frecuentes son:

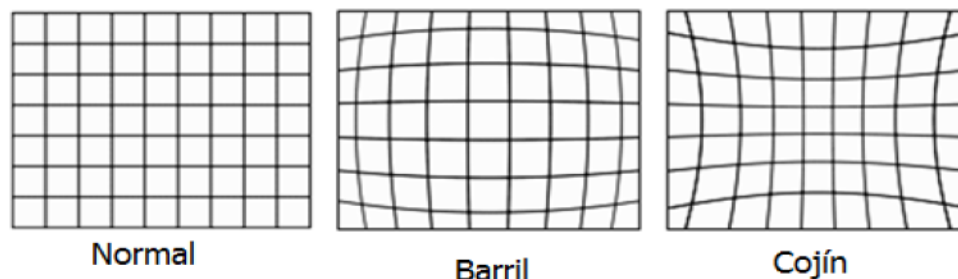


Figura 36. Distorsiones geométricas típicas

Se puede usar el programa Imatest® para el cálculo de este parámetro. En concreto se usará la métrica *SMIA TV distortion*, que arroja en porcentaje el grado de distorsión. También aporta el coeficiente de corrección.

La ecuación de la TV distortion es muy simple, se trata de calcular el porcentaje que representa el aumento o decremento del tamaño de las líneas distorsionadas frente a la línea sin distorsionar. Por ejemplo, si tuviéramos un aumento del doble de longitud de la línea causado por la distorsión, el valor de ésta sería 100%:

$$\text{SMIA TV Distortion} = 100 (A-B)/B ; A = (A_1+A_2)/2$$

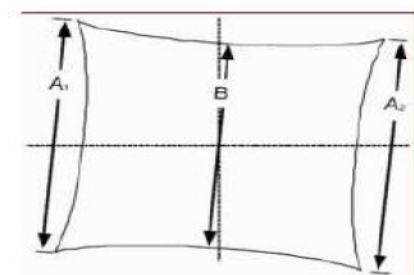


Figura 37. Variables de la ecuación SMIA TV Distortion de acuerdo a Imatest®

El coeficiente de corrección $k1$ nos permite saber el tipo de distorsión óptica que tenemos: $k1 = 0$ indica que no hay distorsión; $k1 < 0$ indica que hay distorsión en forma de cojín; $k1 > 0$ indica distorsión en barril.

No se admitirán porcentajes de distorsión mayores a 1%.

Este tipo de distorsiones se suele corregir digitalmente, mediante la aplicación de funciones de corrección presentes en muchos programas de edición de imágenes. No se admitirá este tipo de corrección, ya que el procesamiento aplicado vuelve a calcular cada ubicación de píxel en la imagen, con el consiguiente riesgo de mermar la calidad o fidelidad de la imagen corregida en otros parámetros físicos.

2.3.6 Grado de curvatura del documento en la imagen digital

Este parámetro tiene que ver con el grado de curvatura que presenta el registro digital de la obra con respecto a la obra original. Cuando se capturan digitalmente algunos tipos de documentos (como pueden ser documentos encuadernados o de gran tamaño) o documentos con problemas de alabeo por haberse conservado enrollados o por presentar problemas de conservación del soporte, es común que su imagen digital presente cierto grado de curvatura. Esto es así por la dificultad o imposibilidad de aplanar completamente el documento durante el proceso de captura o por el riesgo que conlleva para su conservación el aplanado. Si la curvatura es excesiva, la imagen digital de la obra presentará distorsiones geométricas importantes⁶⁵ y partes desenfocadas por haber quedado fuera de la zona de profundidad de

⁶⁵ Al presentarse la obra como un objeto tridimensional que debe ser representado en un plano, que por su propia definición es bidimensional. La representación en un plano de un objeto tridimensional requiere la proyección de la tercera dimensión, mediante algún tipo de artificio, tal como la perspectiva lineal. El sistema de captura de la imagen digital aplica la perspectiva lineal, por lo que los elementos tridimensionales serán registrados proporcionalmente a mayor o menor tamaño en función de su proximidad al objetivo de la cámara digital o superficie de originales del escáner, quedando así alteradas las relaciones originales de tamaño de los distintos elementos presentes en la obra a capturar y distorsionada su geometría.

campo del dispositivo de captura. En estas situaciones, podemos hablar de un registro digital de la obra deficiente.

El grado de curvatura mide la relación entre el tamaño real de la dimensión horizontal de la página o soporte físico a capturar y el tamaño con el que quedan registrados en la imagen digital. El dato se expresa de manera porcentual. La ecuación de cálculo de este parámetro es:

$$\text{Grado de curvatura} = I / R * 100$$

Siendo I = tamaño de la dimensión horizontal de la obra en la imagen digital; y R = tamaño real de la dimensión horizontal de la obra.

El rango de valores admitidos para este parámetro es 94 a 106 %.

2.3.7 Grado de inclinación del documento

Este parámetro aporta información sobre la inclinación de la obra en el dispositivo de captura. No se admitirá corrección de inclinación por software, debido al riesgo de distorsión de la imagen digital que entraña.

No se admitirá una inclinación superior a +2 grados sexagesimales para los documentos encuadernados, y +1 grado en hojas simples.

La medición de este parámetro puede realizarse desde un editor de imágenes que presente una herramienta regla y la función de rotación de imagen de acuerdo a la información aportada por la línea trazada con esta herramienta. Para la medición se elegirá una línea recta presente en el documento, o, en su defecto y si el borde de la página es completamente recto, el mismo borde de la página u hoja a capturar.

2.3.8 Presencia de artefactos

Denominamos artefacto a cualquier elemento gráfico que se presenta en la imagen digital y que no se corresponde con un elemento real en la obra a capturar, sino que es producto de problemas de tipo óptico o de la alteración de la señal digital durante la fase de captura o procesamiento de las imágenes. No se admitirá, en ningún caso, la presencia de los siguientes artefactos en la imagen digital máster o derivada:

- *Aliasing*. Son interferencias ópticas que se producen cuando la resolución espacial de captura es insuficiente para poder registrar de

manera completa un patrón de frecuencias espaciales altas presentes en la superficie a capturar, siendo la capacidad resolutive de las lentes del dispositivo suficiente para su registro correcto. Un caso frecuente de *aliasing* es el que produce un efecto parecido al de las telas de muaré o al que se percibe visualmente cuando se superponen dos rejillas de líneas con un cierto ángulo o con tamaños ligeramente diferente. Hablamos, entonces, de patrón de muaré. Este problema también puede presentarse como patrones visuales diferentes al patrón de muaré sobre la zona de altas frecuencias que alteran gravemente el detalle original. Veamos un ejemplo de patrón de muaré en una imagen digital en color.



Figura 38. Ejemplo visual de *aliasing*

- Posterización. Este problema provoca que las gradaciones tonales suaves presentes en el documento original se sustituyan por bandas de color uniforme. Puede ser frecuentes en fotografías escaneadas con un rango dinámico y profundidad de bit pobre, o por un exceso de aumento de contraste durante el escaneado. Veamos un ejemplo de posterización.



Figura 39. Ejemplo visual de posterización

- Presencia de líneas o motas con falta de registro. Algunos escáneres producen a veces líneas en las imágenes que no coinciden con detalle del original. Es fácil apreciarlas. Suelen ser con colores muy fuertes y más frecuentes en las zonas más oscuras.
- Anillos de Newton. Es un efecto óptico que se produce cuando la luz atraviesa dos planchas de material transparente o traslúcido en contacto imperfecto. Se muestra con una especie de arco iris que forma círculos concéntricos. Suele ocurrir cuando se escanean placas de vidrio o placas o películas plásticas fotográficas. Veamos un ejemplo.



Figura 40. Ejemplo visual de anillos de Newton

- Píxeles defectuosos. Se corresponden a elementos del sensor de imagen que no funcionan correctamente. Se manifiestan como puntos de color negro o blanco o que no correspondiente con el que debería tener. Se producen por defectos en los sensores de imagen.
- Suciedad en el sensor de la cámara o del escáner. Se manifiesta como circulitos de color. Parecen salpicaduras. Veamos un ejemplo.

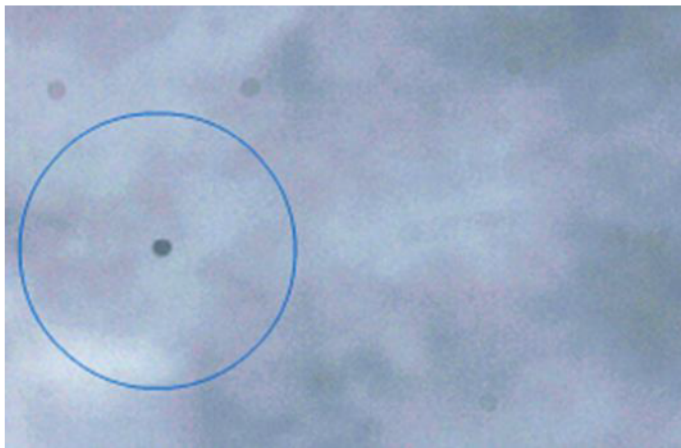


Figura 41. Ejemplo visual de moteado por suciedad en el sensor de imagen

2.3.9 Otros errores de captura no admitidos

Tanto en las pruebas de aseguramiento de calidad como en la pruebas posteriores a la captura de control de calidad ejecutadas sobre muestras de ficheros, se garantizará que no se producirán o han producido esos errores:

- Reproducción incompleta del soporte del documento. No se ha de perder la información de los márgenes del documento o soporte de la obra, por lo que los bordes deberán aparecer en la imagen digital rodeados de algo de espacio de la superficie sobre la que se coloca la obra para la captura o de la tapa del escáner, en su caso.
- Suciedad ajena al documento. Nos referimos a suciedad que puede haberse acumulado en las superficies de los equipos de digitalización y que ha pasado a la imagen digital.
- Orientación incorrecta de la imagen. Algunos problemas comunes de orientación son: documento invertido (“objeto representado mira derecha-debería mirar a izquierda o viceversa”); o documento girado (boca abajo, a derecha, a izquierda).
- Faltan páginas de documentos por digitalizar en documentos multipágina.
- Hay páginas duplicadas por haberse capturado dos veces.
- Hay reflejos en las imágenes. Ocurre frecuentemente cuando se digitaliza con una placa de vidrio superpuesta al documento con la finalidad de aplanar páginas alabeadas. En la imagen digital aparecen imágenes reflejadas de elementos o fuentes de luz ubicados en la cercanía de la superficie de digitalización. Veamos un ejemplo de reflejo.
- Presencia de dobleces al haberse capturado páginas con alguna esquina doblada.
- Ficheros másteres o derivados que no tengan su perfil ICC incrustado.
- Enfoque incorrecto en toda la superficie de la imagen.
- Ausencia de información perteneciente a otros documentos. Puede ocurrir en documentos encuadernados de varias páginas con soporte de escaso grosor. La transparencia del soporte provoca la aparición en la imagen digital de textos u otros elementos gráficos pertenecientes a la página inmediatamente anterior o posterior. Se puede evitar introduciendo una lámina opaca entre ambas páginas. Umbral de calidad: la presencia de este problema implica el rechazo para la subsanación del problema.

2.4 Pautas para la aplicación de procesos de trabajo específicos

2.4.1 Ajustes sobre la imagen digital no permitidos para la imagen máster

No se permitirá ninguno de estos ajustes, ni durante la captura a través del software de captura, ni posteriores a la captura, a través de un editor de imagen digital:

- Ajustes tonales o cromáticos de ningún tipo. La calidad tonal y cromática se relegará exclusivamente al procedimiento de gestión de color mediante perfiles ICC o, cuando se usen cámaras fotográficas digitales, mediante perfiles ACR DNG. Los perfiles ACR DNG sólo se aplicarán si se admite para ese tipo de objetos que el espacio de color de las imágenes másteres sea un espacio RGB independiente de dispositivo, tal como Adobe RGB (1998), Prophoto RGB o eciRGB. Se permitirán ajustes tonales en el proceso de revelado RAW cuando se utilicen perfiles ACR DNG, pero sólo si van encaminados exclusivamente a mejorar la precisión en rendimiento de color y tono del perfil ACR DNG en aras a la máxima fidelidad en estas características de la imagen, pero nunca con la intención de realzar el contraste o la saturación de color o de adaptar la imagen a un medio de salida concreto.
- Ajustes de realce de la imagen de ningún tipo para la acentuación de atributos plásticos (contraste, saturación, brillo, foco...)
- Ajustes de nitidez orientados a mejorar el foco de la imagen, salvo en el proceso de revelado RAW y siempre que se configuren con baja intensidad.
- Ajustes para la eliminación de aberraciones o distorsiones debidas a defectos de captura o mal rendimiento del equipamiento. Sólo se admitirá la aplicación de filtros de baja intensidad para la eliminación de aberración cromática en el proceso de revelado RAW.
- Eliminación o reducción de ruido cromático o de luminancia. Sólo se admitirá la aplicación de filtros de minimización de ruido cuando el revelado RAW se realice en modo lineal, y el revelador RAW no aplique un procesamiento para minimizar el ruido. El filtro de reducción de ruido habrá de ser configurado de manera que no se elimine ninguna información relevante de la imagen y no se alteren las características tonales ni cromáticas. Esto se garantizará mediante pruebas. Se podrán realizar también estos ajustes en el proceso de

revelado RAW, pero siempre y cuando se apliquen con poca intensidad.

- Eliminación por software de manchas o suciedad captada en la imagen.
- Eliminación de defectos en el original físico provocados por una deficiente conservación de la imagen.
- Interpolación de la resolución espacial para aumentar los píxeles de la imagen.
- Interpolación de la profundidad de bit para pasar de una menor a una mayor profundidad de bit.
- La inclusión o la eliminación de cualquier elemento icónico presente en la imagen, aunque sean elementos no pertenecientes al documento que han sido captados por error en la captura.
- Eliminación de bordes alrededor de los objetos capturados que vaya en contra de las pautas de calidad aportadas en estas directrices.
- Alineación del objeto captado por software, cuando su grado de inclinación será superior al permitido en estas directrices.

2.4.2 Rotación de la imagen

Las imágenes siempre han de quedar derechas de acuerdo a la vista captada. Si se deben capturar rotadas por motivos de eficiencia del proceso de captura se rotarán digitalmente, pero se evitará la necesidad de rotación ante documentos de alto valor plástico e icónico, dado el riesgo de aplicar inadvertidamente procesos de edición de las imágenes que supone.

2.4.3 Recorte del área de captura

No se permitirá recortar ninguna fracción del borde del documento.

Se dejará un área de seguridad que garantice que el borde y la carta de control queden perfectamente registrados en la imagen, que será al menos de 2 milímetros.

2.4.4 Pautas para el uso de cámaras fotográficas digitales

Se podrá usar este tipo de dispositivo para la captura de todos los tipos y medios documentales con salida a imagen digital raster o texto digital.

La cámara irá equipada con un objetivo macro de alta calidad de 50mm o de 100mm (si se trata de obras de pequeña superficie).

La cámara digital deberá ubicarse en un stand de reproducción estable que permita mover el cabezal con pasos milimétricos sobre la columna de reproducción. El stand se tendrá que equipar con un sistema de iluminación profesional específico para fotografía de reproducción, con luces frías (tipo LED, fluorescente de alta frecuencia, HMI, HID o flash) de espectro completo, normalizadas con una temperatura de color entre 5000 y 5400 K y un alto valor de CRI.

No se admitirá el uso de filtros polarizadores cruzados, salvo que sea imposible la eliminación de reflejos mediante otro sistema en documentos con superficies muy brillantes. La polarización cruzada puede llegar a provocar problemas de rendimiento del equipo en rango dinámico, ruido y precisión tonal y de color, por lo que antes de optar por la polarización cruzada se evaluarán otros procedimientos habituales en la fotografía de reproducción para la eliminación de brillos, tal como el apantallamiento de las fuentes de luz.

Se evitarán luces con un alto contenido en radiación UV o que generen calor. El operador de captura controlará las condiciones de temperatura y humedad de la sala para evitar valores que puedan dañar los documentos.

Para reducir los reflejos, la aportación de calor y mejorar la uniformidad de la luz, el ángulo de iluminación de las lámparas será entre 30 y 45 grados con respecto al centro del área de captura, y no se colocarán a menor distancia del doble de la dimensión diagonal del área a ser capturada. El ángulo de inclinación preferido son los 45 grados.

Es conveniente medir la uniformidad de la iluminación antes de la toma del lote o lotes de documentos que comparten las mismas condiciones de captura, garantizándose así niveles de uniformidad y calidad que permitan superar las pruebas de control de calidad en uniformidad de iluminación. Para ello se recomienda usar o fotómetro de luz incidente, que se irá colocando a largo de todo el área de captura. Los valores de intensidad de luz se medirán en valores de exposición (diafragmas o f-stops), ya que en las pautas de calidad descritas más arriba se usa esta unidad de medida.

Para no someter a los documentos y obras a capturar a una exposición prolongada a la luz, se harán las mediciones de calidad de uniformidad y de exposición sobre el tablero de reproducción, antes de colocar los originales.

Los valores de exposición de las tomas con cámara digital o escáner planetario serán los adecuados para conseguir el mayor aprovechamiento del rango dinámico del dispositivo para registrar con buena calidad el margen de densidades de los originales. Salvo que el margen de densidades de los originales sea elevado, se procurará exponer, ante originales reflectantes, para una carta de grises del 18% ubicada en el centro del área de captura. En su defecto, se calcularán los valores de exposición con un exposímetro a partir de la luz incidente, colocando la semiesfera difusora delante de la célula fotoeléctrica y ubicando el dispositivo en el centro del área de captura.

apoyado en la mesa de reproducción de manera que quede mirando hacia la fuente de luz.

Se admitirá la sobreexposición controlada⁶⁶ ante originales muy densos, siempre y cuando la imagen máster TIFF resultante pueda ser corregida con la intermediación del perfil de color sin defectos resolutivos, de color o tonales que impidan la superación de las pruebas de calidad definidas en estas pautas. No se permitirá sobreexponer las capturas en más de 1 valor de exposición, dado el alto riesgo de recorte de información en zonas de altas luces o de distorsión de color que acarrea este procedimiento⁶⁷. Los valores de abertura de diafragma se elegirán de forma que se disminuya tanto el efecto de difracción como de las aberraciones ópticas de las lentes, evitándose también altos tiempos de obturación.

La cámara tendrá que llevar acoplado un sistema que no requiera manipular directamente el botón de disparo. De esta forma se evitarán vibraciones que menoscaben la calidad del foco de las imágenes.

El operador de la cámara comprobará, antes del comienzo de la toma de un lote, el paralelismo de la cámara con respecto a la superficie de captura, que habrá de ser total.

Se podrá usar un vidrio aplanador cuando sea imposible mantener completamente plano el documento. Pero siguiéndose las siguientes pautas:

- La calibración y caracterización de la cámara se hará con el vidrio.
- El peso del vidrio no daña en ningún modo al documento.
- Se ha comprobado que no se disminuye la calidad tonal y cromática de las capturas con el vidrio.
- No se aplica el vidrio a obras de arte o fotografías.
- No se genera ningún reflejo que pueda quedar registrado en las imágenes.
- El vidrio no provoca distorsiones geométricas o de otro tipo.

El stand de reproducción se ubicará sobre suelo o mesa firme, que no pueda vibrar por los movimientos del operador.

⁶⁶ Denominado comúnmente como “derecheo del histograma” en el ámbito de la fotografía digital.

⁶⁷ Evidentemente, este límite no se aplicará en las capturas para componer una imagen en codificación HDR. No obstante, ante originales extremadamente densos sin áreas claras, se evaluará esta pauta, permitiéndose incrementar la sobreexposición en alguna fracción más de valor de exposición. En este caso, se deberá proceder a una evaluación sistemática de la calidad de color previa a la generación de la imagen máster final, ante el riesgo de merma palpable en la precisión de color que puede provocar una alta sobreexposición.

Se comprobará que el sistema de enfoque, manual o automático, no merma la calidad de la reproducción del detalle de los originales.

El ajuste de blancos de la cámara se hará contra una carta de gris del 18% de reflectancia con calidad profesional.

Para la captura de documentos translúcidos se usará una mesa de luz de calidad profesional, no admitiéndose el uso de mesas de luz diseñadas para el mercado doméstico o amateur. La mesa de luz habrá de permitir graduar la intensidad de luz, para que el operador de captura pueda tener suficiente margen de maniobra en el cálculo de los valores de abertura de diafragma y velocidad de obturación como para conseguir capturas con la calidad y el rango dinámico requeridos. Se acoplarán plantillas de material no reflectante alrededor de las obras a capturar, de manera que las zonas claras de alrededor de los originales no influya negativamente en la calidad de registro de los bordes de los documentos.

Cuando se haga una captura con una mesa de luz se cuidará y habilitará lo necesario en el entorno de alrededor de la mesa para eliminar toda fuente de reflejos. La luz incidente será la mínima imprescindible para que el operador de captura pueda manejarse, siendo el la fuente de luz neutra, y prefiriéndose luz de día filtrada.

2.4.5 Toma de imágenes complementarias ante la captura de documentos u objetos que muestren relieve

La captura en formato imagen digital raster es una captura bidimensional. Esto supone que algunos detalles tridimensionales presentes en las obras pueden quedar pobremente registrados en las imágenes digitales o representados con distorsión. En esta pautas no se aborda la captura 3D, ni se ha planteado en los objetivos del proyecto de digitalización. Pero es posible que en algunas obras a digitalizar sea prioritario destacar en la imagen bidimensional algún detalle en relieve de los documentos.

En estas situaciones se podrá optar por cualquiera de estas técnicas de resalte de elementos tridimensionales presentes en las superficies de los objetos a capturar:

- Captura adicional de una imagen raster con un ángulo de inclinación de una fuente de luz lateral inferior a 30 grados. Es lo que comúnmente se denomina como captura con luz rasante. La luz rasante magnifica las sombras que puedan crear los elementos tridimensionales de la superficie a capturar, para que éstos queden resaltados. En este caso, se añadirá un fichero extra, tanto a los másteres como a los derivados con el mismo nombre que el del máster o derivado al que añadirá la cadena de caracteres “_rasante” justo antes del punto que separa el nombre de fichero de la extensión.

Cuando se estime como necesario capturar con luz rasante diferentes imágenes desde diferentes lados ángulos se podrá emplear esta práctica y se identificará cada imagen además por un número, tal como “_rasante1”, “_rasante2

- Creación de una imagen RTI (*Reflectance Transformation Imaging*). Esta tecnología consiste en capturar, además de la imagen raster de un objeto o escena, información que posteriormente permita reconstruir las texturas de las superficies con alta fidelidad. Durante la visualización se puede cambiar sobre la marcha la apariencia de la imagen en función de diferentes geometrías de iluminación. Esta tecnología se usa, por ejemplo, para documentar el estado de conservación y los datos tridimensionales de objetos patrimoniales culturales⁶⁸.

A continuación incluimos un ejemplo de imagen en RTI, con diferentes visualizaciones para destacar distintos detalles⁶⁹.

Un fragmento de la captura en formato raster de un papiro:



Figura 42. Representación de la imagen de un papiro con la tecnología RTI

⁶⁸ Podemos acceder a información completa sobre esta tecnología, a la descarga de imágenes de ejemplo y de aplicaciones para su visualización y procesado en esta dirección de la *Cultural Heritage Imaging* (CHI): <http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/>

⁶⁹ La imagen ha sido descargada desde la propia Web del proyecto RTI de la mencionada *Cultural Heritage Imaging*.

La visualización RTI que destaca la textura de la superficie:

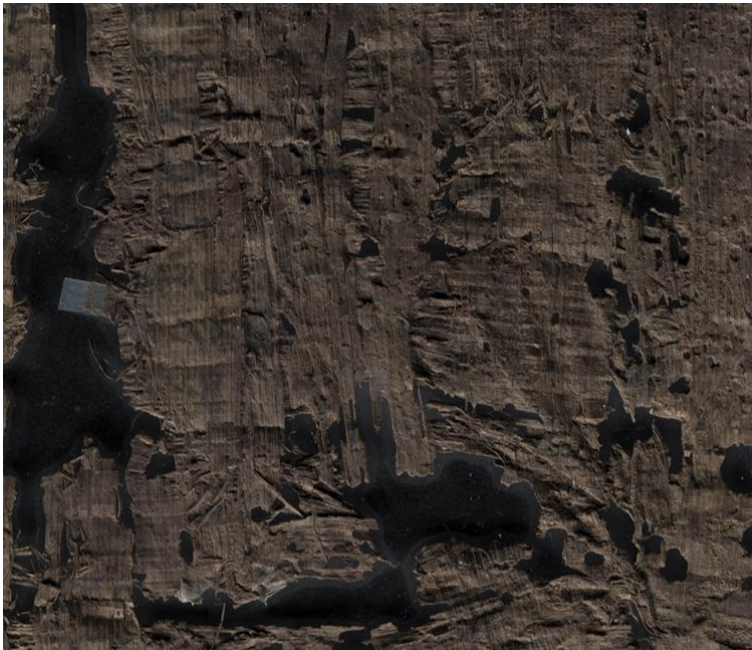


Figura 43. Representación de la imagen de la textura de un papiro con la tecnología RTI

La visualización RTI que destaca el volumen:



Figura 44. Representación de la imagen del volumen un papiro con la tecnología RTI

2.4.6 Los sistemas de nomenclatura y organización de ficheros

2.4.6.1 Normativa de nomenclatura general de ficheros y carpetas

Esta normativa se aplicará a todos los medios y tipos de obras de arte o documentos a capturar, no sólo a los que se aplica una salida como imagen digital raster.

Se seguirán los siguientes requisitos en los nombres de fichero y de carpeta:

- La nomenclatura debe cumplir con la normativa de todos los sistemas operativos de uso común, al menos: Windows en sus diferentes versiones, Mac OS, Linux en sus diferentes versiones y Unix.
- La nomenclatura de las carpetas que agrupen todos los ficheros relativos a un documento, facilitará la identificación del documento que contienen.
- En su caso, el nombre del fichero que contenga el registro de metadatos sobre el documento, debería permitir también la identificación del documento que describe.
- La nomenclatura de los ficheros de documentos multipágina u otros documentos compuestos hará posible identificar la secuencia numerada, o de otro tipo, de los ficheros, cuando estos deban ir en un orden determinado.
- No se admitirá el uso de caracteres no alfanuméricos para nombres de carpetas y ficheros, a excepción de guion, guion bajo, y un punto para separar el nombre del fichero y la extensión del fichero.
- No se admitirá el uso de puntos en el nombre del fichero, si no son para separar el nombre de la extensión. Nunca se usará el punto como primer carácter del nombre del fichero o carpeta.
- No se admitirá el uso de puntos en los nombres de carpetas.
- No se admitirá el uso de caracteres especiales, como: / > < + = ' ^ | \ { } [] # , ; ? ! \$ * & , que son empleados por el sistema operativo.
- No se admitirá el uso de espacios en blanco, que habrán de sustituirse por guion bajo.
- No se admitirán extensiones de fichero en mayúsculas o no válidas.
- Los nombres de fichero de deben tener más de 128 caracteres, incluyendo el propio nombre, el punto separador de la extensión y la extensión.
- Las rutas de fichero (combinación de nombre de fichero con su extensión y nombre de la vía de acceso) no tienen que sobrepasar los 172 caracteres.

- Sólo se permitirá el uso de caracteres en minúsculas, tanto para nombres de fichero como para nombres de carpeta.
- El nombre de fichero será único en toda la colección, por lo que funcionará como un identificador único.

El nombre del fichero será igual al nombre del identificador único almacenado en la base de datos catalográfica usada para catalogar las obras o en un inventario. Si este nombre no cumpliera con los requisitos anteriores se harán los ajustes oportunos para su cumplimiento. No podrá haber dos nombres de fichero idénticos, salvo cuando se trate de los ficheros correspondientes a la misma toma de una obra y que tengan formato, y por consiguiente, extensión diferente.

Esto implica que no se podrá digitalizar una obra si previamente no está dada de alta en un catálogo o inventario y se la ha asignado un identificador único estable.

Los nombres del fichero máster y su derivado o derivados serán idénticos, salvo la extensión que será la propia del formato del fichero.

2.4.6.2 Sistema de organización de los ficheros en los discos de almacenamiento

Esta normativa se aplicará a todos los medios y tipos de obras de arte o documentos a capturar, no sólo a los que requieren una salida como imagen digital raster. Es recomendable que la configuración definitiva de este aspecto sea consensuada con todo el equipo del proyecto.

En los discos donde se vayan almacenando los ficheros resultados de la digitalización se seguirán estas pautas:

- La estructura de carpetas debe ser idéntica en todos los fondos a digitalizar no admitiéndose variaciones sin justificar.
- Cada fondo tendrá una carpeta padre/raíz que contendrá todos los ficheros digitales de sus obras. Cuando los ficheros de un mismo fondo no quepan en un único disco, en todos los discos donde se almacenen tendrá que haber una carpeta raíz para el fondo. No se podrán mezclar los ficheros de diferentes fondos en una misma carpeta raíz de fondo. El nombre de la carpeta del fondo será un identificador nemotécnico de éste de pequeña extensión, tal como: “espacio-p” o “pedrogarhel”.
- Cada colección dentro del fondo tendrá una carpeta padre cuyo nombre será un identificador nemotécnico de la colección, tal como “fotografia”, “dibujos”, “acuarelas”.

- Dentro de cada colección se presentará una carpeta padre por cada documento. Dentro de esa carpeta padre se seguirá la siguiente estructura:
 - Una carpeta para la versión máster. En esta carpeta se incluirá un fichero de texto plano con el mismo nombre que el del fichero máster pero finalizado con la cadena de caracteres “_hash” y codificado en UTF-8, que contendrá dos datos separados por un carácter retorno de carro: el código hash de fichero máster y el algoritmo usado para obtener ese código. Esta información podrá ser usada posteriormente para validar que el fichero máster no ha sufrido algún tipo de modificación desde la fecha de su almacenamiento definitivo en disco. Sólo se admitirán algoritmos de hash criptográficos de amplio uso e implantación a la fecha del almacenamiento del fichero⁷⁰.
 - Una carpeta para la versión derivada. En esta carpeta, o sus posibles subcarpetas, se incluirá el mismo sistema de control referido para la versión máster.
 - Una carpeta para la versión miniatura, en su caso.
 - Una carpeta para ficheros de metadatos, en su caso.
 - Una carpeta para el fichero RAW de cámara fotográfica digital, en su caso.
- Para los documentos multipágina o compuestos, se deberá generar obligatoriamente una carpeta por documento (libro, número de revista o boletín, expediente administrativo, álbum de fotografías...), que integre los ficheros que componen todo el documento.
- Si existen varios tipos de ficheros derivados, más allá de las típicas versiones JPEG para imágenes raster, se crearán carpetas específicas con nombre y ubicación normalizados, de manera que se pueda facilitar el procesado automático posterior.
- Nunca se incluirán:
 - Carpetas vacías o carpetas que contengan otras carpetas vacías.
 - Carpetas comprimidas.
 - Ficheros del sistema operativo.
 - Ficheros o directorios ocultos.
 - Ficheros de miniaturas creadas automáticamente por el sistema operativo o por aplicaciones tipo visor.

⁷⁰ Hemos de resaltar que este sistema de protección es muy poco robusto, pues es muy sencillo que de forma malintencionada una persona o software que tenga acceso al disco sin otras medidas de protección adicionales modifique el fichero máster y el propio TXT con el código hash, modificando los atributos de ambos ficheros para ocultar estos actos de modificación. Por ello esta medida no podrá sustituir a otras más robustas de seguridad digital que tendrán que ser consideradas.

Con respecto a las capturas de ficheros de control independientes se seguirán estos requisitos:

- Los ficheros de control independientes se ubicará en una carpeta hija de la carpeta padre de colección denominada “control”.
- Dentro de esta carpeta habrá tantas subcarpetas como capturas de control se hayan hecho para esa colección, cuyo nombre será “control_lote N ”, siendo sustituida la “ N ” por el número de lote, que será asignado por el operador de dispositivo de captura para que nunca haya coincidencia de número entre un lote y otro. Los números de lote tendrán los mismos caracteres de extensión, usándose ceros delante hasta completar la extensión máxima necesaria para contener a todos los números. Un lote contiene las capturas de control de todos los ficheros que se han capturado con condiciones idénticas de captura y almacenamiento. En esta carpeta se almacenarán los ficheros de las capturas de control de ese lote. Además se deberán guardar, por cada carta de control usada, un fichero TXT, con codificación UTF-8, con los datos de referencia de cada parche de densidad o de color de la carta. Si los datos se expresan en sistema de color CIELAB o CIE XYZ, se referirá el iluminante utilizado y el observador estándar. Cuando se trate de cartas que sirvan para la creación de un perfil ICC, como la carta colorchecker® o IT8, se guardará también el fichero de referencia de formato CGATS. Los ficheros de texto y CGATS serán guardados con codificación UTF-8.
- Dentro de la carpeta correspondiente a cada lote se almacenará un fichero de texto con extensión TXT y codificación UTF-8 que contendrá el listado de ficheros máster de ese lote identificados por su nombre de archivo con extensión de archivo incluida.
- El nombre de los ficheros de las cartas de control será el indicado en su epígrafe correspondiente más abajo, ya que puede variar según el tipo de documento.

2.5 Control de calidad postcaptura

Es necesario que, una vez capturados los lotes y con las obras todavía en la sala de captura, se hagan las pruebas de calidad que describimos en los siguientes subepígrafes, con la finalidad de que se puedan detectar problemas de calidad y subsanarse sin necesidad de tener que volver a desplazar los documentos a la sala de captura.

Sus objetivos son:

- Detectar problemas de pérdida de calidad.
- Habilitar los medios para corregir los problemas detectados en las imágenes y ficheros rechazados.
- Volver a digitalizar o a procesar los documentos que dieron resultados defectuosos.
- Evitar que se vuelvan a producir esos problemas, analizando las causas y aportando las mejores soluciones. Hay soluciones que pueden derivar en la corrección o sustitución de procedimientos de trabajo o herramientas.

Este control es complementario al control de calidad que hacen durante la captura los propios operadores de equipos de captura; es imprescindible y no se debería delegar a los operadores de equipo, ya que es fácil que al operador, que tiene que atender muchas cuestiones durante la captura, se le pasen defectos importantes en las imágenes o ficheros. Si se cuenta con los servicios de digitalización de una empresa externa, este control debe ser independiente del control propio de calidad que haga la empresa de servicios de digitalización.

Es necesario contemplar controles independientes para las imágenes máster y las derivadas, pues sus características técnicas difieren.

Es recomendable que la empresa o personal interno encargado del control de calidad postcaptura haga informes técnicos especificando sus resultados, donde explique estos aspectos:

- El tipo de pruebas realizadas.
- Los lotes revisados y el número de muestras tomadas.
- Los problemas detectados y la identificación de sus causas.
- Los ficheros que han sido rechazados y sus causas (en su caso).
- Las medidas tomadas para su subsanación.
- El impacto para el cumplimiento de la programación del proyecto que han tenido esos problemas.

También se hará constar por cada informe, su objetivo, la persona responsable de su realización y la organización para la que trabaja. Una copia de cada uno de esos informes será almacenada en la carpeta padre del proyecto, en una subcarpeta denominada “informes_tecnicos”. El formato del documento de informe será PDF; su nombre cumplirá las normas de nomenclatura definidas más arriba y habrá de contener un término que identifique fácilmente su contenido, tal como: “informe_pruebas_calidad_postcaptura_fotografia.pdf”.

2.5.1 Control automático sobre las cartas de control independientes

Dado el alto tiempo que consume este proceso, se hará sobre una muestra reducida de documentos del lote. La muestra será de entre un 5 y 10 % en lotes de entre 100 y 1200 imágenes; de 10% en lotes entre 10 y 100 imágenes; y de 1 imagen para lotes menores a 10. Los números fraccionarios serán redondeados a la unidad siguiente superior. La muestra será aleatoria⁷¹. Si se detectase algún error en la muestra, se inspeccionará el lote completo. Todos los errores detectados serán subsanados mediante la redigitalización de los contenidos afectados.

La revisión de las muestras se hará realizando los mismos procedimientos y usando los mismos parámetros, herramientas y aplicaciones de control que las descritas en el control de aseguramiento de calidad.

Los lotes en que se agrupan los documentos para hacer el muestreo deben ser completamente homogéneos en lo que respecta a las condiciones y variables técnicas de captura, por lo que todos los ficheros de imagen de un lote deben coincidir en los siguientes aspectos:

- Medio y tipo documental.
- Operador de escáner o cámara fotográfica digital.
- Dispositivo concreto de captura empleado.
- Ajustes de la captura en todos sus elementos: iluminación, disposición de la iluminación, distancia de enfoque, etc.
- Calibración y perfil ICC de dispositivo.
- Variables técnicas de captura y procesado: resolución espacial, profundidad de bit, formato de fichero, espacio de color, etc.

⁷¹ Este tamaño de muestra cumple con los requisitos, en su nivel más bajo, de la norma ISO 2859-1: 1999, *Sampling procedures for inspection by attributes – part 1: sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection*. Las muestras aleatorias se pueden hacer fácilmente asignando un número consecutivo a cada documento del lote y generando números aleatorios desde alguna aplicación de cálculo, tal como Microsoft Excel.

2.5.2 Control visual sobre cabina visualización de muestra

Se aplicará cuando se trate de documentos u obras con valor de contenido plástico e icónico, tales como fotografías, pinturas, dibujos, bocetos, carteles, o cualquier tipo de objeto que se considere como tal.

Se hará sobre una muestra de imágenes de cada lote de captura, que puede coincidir con la muestra generada para el control automático. Se deben seguir obligatoriamente los requisitos marcados en el epígrafe denominado “Pautas a seguir en las pruebas de softproofing”.

2.5.3 Visual completo de todos los objetos con visor en modo tira

Una vez finalizada la captura de un lote de documentos y transferidos los ficheros resultantes a un soporte informático, se realizará una prueba visual rápida, que tratará de detectar defectos mayores. Se tienen que visionar todos los ficheros. Para la mayor velocidad de la prueba se dispondrán las imágenes en modo tira con tamaño mosaico, de manera que el operador pueda visualizar un gran número de imágenes al mismo tiempo en pantalla e ir pasando por el contenido de las carpetas donde se han ubicado los ficheros de imagen.

Esta prueba se puede realizar fácilmente desde el propio Explorador de archivos o desde visores de imágenes gratuitos como *IrfanView* o *Xnview*. Se puede realizar con mayor rendimiento desde aplicaciones como Adobe Bridge.

Este control lo puede hacer la misma persona que hace las capturas digitales u otra persona. Pero es imprescindible que la haga una persona formada en imagen digital y en los objetivos del proyecto.

2.5.4 Pautas a seguir en las pruebas de softproofing

El objetivo de estas pautas es ayudar a crear unas condiciones ambientales de percepción en la sala de control de calidad y de configuración del monitor y del programa de edición de imágenes utilizados para las pruebas que garanticen que el proceso de control visual de calidad se hace correctamente.

Si estas condiciones son las correctas, se puede llegar a virtualizar la apariencia de la obra digitalizada sobre la pantalla del monitor. Recordemos que la apariencia está codificada en la imagen digital a través del perfil de color ICC incrustado en esta. Gracias a esta virtualización, el observador que hace las pruebas de evaluación visual podrá evaluar de forma sistemática la proximidad de la apariencia codificada en la imagen con respecto a la apariencia del original digitalizado como si fuera visto bajo las condiciones de percepción marcadas en el PCS del perfil de color ICC incrustado.

Las pruebas de softproofing consisten en ubicar próximos el monitor que muestra la imagen digital a evaluar y el propio original, para que un operador convenientemente entrenado pueda detectar visualmente cualquier disparidad de apariencia y los factores que la provocan.

El ambiente de trabajo deberá estar controlado de forma que se puedan conseguir unas condiciones perceptivas idóneas. Para ello se seguirán las normativas ISO para control de calidad visual mediante softproofing. Hay dos normativas de referencia:

- ISO 12646:2015. Graphic technology -- Displays for colour proofing -- Characteristics.
- ISO 3664:2009. Graphic technology and photography - Viewing conditions.

Además el operador de control de calidad procurará que todo el flujo de la cadena de digitalización (escáner/cámara, controlador del escáner, editor de imagen, monitor y sistema operativo) esté calibrado, caracterizado y configurado correctamente.

Será obligatorio hacer un perfil ICC del monitor, al menos uno al día, debiendo ser este calibrado, previamente, con unos parámetros de calibración que sean idóneos para el modelo de monitor concreto con el que se está trabajando. El último perfil obtenido será el perfil activo. Se recomiendan estos valores de calibración, que podrán ser variados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, si procediera:

- La temperatura de color del punto blanco será D65. Aunque los estándares aludidos recomiendan D50, es preferible trabajar a D65 para evitar la posterización y mal rendimiento en los colores azules. Como el ojo humano se adapta fácilmente a un cambio en la temperatura de color, la falta de coincidencia con D50 no se considera relevante, siempre y cuando la cabina de visualización del original no esté en el ángulo de visión del monitor.
- La intensidad de luz del punto blanco se ubicará entre las 85 y 115 candelas por metro cuadrado.
- La intensidad de punto blanco debe hacerse coincidir con la de la cabina de visualización, pero se modificará la intensidad de la cabina para ello, debido al riesgo de mal rendimiento del monitor, deterioro de la vista y merma en el período de vida útil del monitor si se hace lo contrario, ya que normalmente la intensidad por defecto de las cabinas suele situarse por encima de las 115 candelas por metro cuadrado.
- La gamma se ubicará en 2,2.

Tras el proceso de calibración y caracterización del monitor se obtendrá un informe de calidad desde el mismo software utilizado para realizar ambos procesos. No se admitirán desviaciones importantes de los valores de calibración, en lo que respecta a intensidad de luz, superiores a 1 candela por metro cuadrado; ni en lo relativo a color, valores de desviación promedios superiores a 3 de acuerdo a la métrica delta E (CIE 1976).

El monitor habrá de tener solapas forradas en fieltro o material no reflectante de color negro, a ambos lados y arriba, de manera que se eviten reflejos sobre la pantalla.

Se tendrán dos monitores. Uno de ellos se usará para mostrar el interfaz de trabajo de la aplicación de edición de imágenes usada para las pruebas, y el otro para mostrar las imágenes a evaluar. De esta manera se evitará que el color y los elementos gráficos del interfaz distraigan al operador y le influyan en la percepción del color de las imágenes que están evaluando.

El editor de imagen digital habrá de ser configurado en normas de gestión de color de manera que se mantengan los perfiles ICC incrustados.

Los originales correspondientes a las imágenes a evaluar se irán colocando en una cabina de visualización ajustada a las normativas ISO vigentes, que se situará en ángulo recto (a 90 grados) de la pantalla del monitor donde se muestre la imagen a evaluar. Este ángulo de colocación mejora la adaptación del ojo a la diferencia de temperatura de color que pueda haber entre los puntos blancos de monitor y cabina. La cabina habrá de tener solapas, y ser acorde al estándar D50, con posibilidad de regular la intensidad de luz, que, como ya se ha referido más arriba, se hará coincidir con la del punto blanco del monitor. La cabina no podrá estar en el ángulo de visión del monitor.

El ambiente de la sala de trabajo será acorde a la normativa ISO 3664:2009. De acuerdo a esta normativa, las superficies alrededor del monitor y cabina de visualización será de color gris medio, evitándose siempre los colores blanco, negro, o colores saturados en el campo de visualización. La intensidad de luz ambiente alrededor del monitor será débil, menos de 64 lux, siendo ideal que se ubique por debajo de los 32 lux, pero sin llegar nunca a la ausencia de luz en la sala de trabajo. Como los monitores no son muy brillantes, con menor luz ambiental mejorará la sensación de saturación y contraste, el rango dinámico y la adaptación del ojo humano a la luz del monitor. La temperatura de color de la iluminación ambiental será inferior o igual a la del punto blanco del monitor.

Antes de iniciar la evaluación de imágenes el evaluador deberá emplear unos minutos para la adaptación de su vista al ambiente de iluminación y monitor, especialmente cuando cambie de entorno de iluminación.

Se usará para iluminar la sala, en la medida de lo posible, luz de día filtrada, siendo la mejor la luz del medio día. Se evitará que la luz solar incida directamente dentro de la sala, siendo ideal que la sala esté orientada al norte.

Es preciso que el operador trabaje con ropa de color negra o gris no muy claro, para evitar reflejos de color sobre las imágenes a evaluar y sus originales y la influencia de los colores de la ropa en la percepción de los colores.

El área más cercana a la imagen que va a ser representada en pantalla debe ser neutra, preferentemente de color gris o negro, por lo que se configurará la aplicación usada para reproducir las imágenes para que no muestre colores que no sean estos.

Son evitadas todas las fuentes de luz que causen reflejos en la pantalla del monitor.

El operador mirará siempre al monitor de frente siempre, evitando ángulos no rectos.

2.5.5 Control de metadatos técnicos y códigos hash

Se deben analizar los metadatos técnicos de las muestras empleadas en el control postcaptura para poder detectar si se han cumplido todos los requisitos en lo que respecta a los valores de todas las variables técnicas de captura, codificación y formato de fichero dadas en el documento de especificaciones técnicas del proyecto. Se hará tanto en las versiones másteres como en las derivadas. Los metadatos se pueden extraer muy fácilmente en un proceso por lotes mediante el uso de herramientas solventes, tales como *MediaInfo* e *Exiftool*.

Se deben revisar, asimismo, que los códigos hash de los ficheros muestreados corresponden con los incluidos en los listados de control aportados por el equipo o empresa de digitalización. Para ello se usará una aplicación que permita obtener por lotes el código hash de todos los ficheros mediante el mismo algoritmo aplicado para generar los listados.

Capítulo 3. Requisitos específicos de calidad para el medio imagen digital raster

3.1 Introducción

Este capítulo se ha dedicado a la exposición de los valores admitidos para las variables técnicas de captura de los originales a los que se aplica la tecnología de imagen raster. Nos movemos, en consecuencia, en el elemento del modelo de calidad que venimos denominando como variables técnicas. Contemplamos, no solo las variables de captura, sino también los tipos de dispositivo y configuraciones de captura que admitimos para cada clase de documentos, las cartas de control cuyo uso recomendamos y cómo se deben disponer éstas en la captura. Lo hemos organizado partiendo de una estructura clasificatoria de tipos de documentos u obras de arte con salida a imagen raster desarrollada de acuerdo al contenido del Archivo de Espacio P.

3.2 Dibujos y otras formas de expresión autógrafas sobre soporte opaco

3.2.1 Dispositivo y herramientas de captura

Dado el valor plástico de estas obras, se recomienda el uso de una cámara fotográfica digital en un modelo profesional. En su defecto, se podrá utilizar un escáner planetario, que, al igual que un dispositivo tipo cámara digital, deberá, necesariamente, pasar los controles de cumplimiento de requisitos de calidad marcados en estas pautas.

3.2.2 Elementos de control por toma que deben ser capturados junto a las obras

Los elementos de control serán:

- Una carta tonal. Se usará una carta modelo Q13 de Kodak. Esta carta será recortada cuidándose que no tenga un ancho superior a 1 centímetro. Se guardarán en un fichero TXT los valores de densidad de cada parche de la carta. Estos valores son proporcionados por el fabricante de la carta.
- Una carta milimétrica. Se usará una regla, que será recortada de manera que no tenga un ancho mayor a 1 centímetro ni un alto mayor a 3 centímetros.
- Una carta de color. Se usará una carta colorchecker® en su modalidad mini. Como la forma de la carta es rectangular, las cuatro filas que presenta habrán de ser recortadas y colocadas una debajo de otra, formando una carta que muestre todos los parches de color en una única fila.

Estas cartas servirán como referencia sobre la fidelidad de contraste, tamaño y color de la imagen digital del documento con respecto al original. Dado el valor plástico de los dibujos, estimamos que estos elementos son necesarios para que se puedan realizar reproducciones o visualizaciones fieles a partir de las imágenes digitales, o al menos que se pueda vislumbrar durante la visualización el grado de alejamiento de las imágenes reproducidas con respecto a los originales.

Las cartas se ubicarán preferentemente una debajo de la otra en el lado derecho de la captura, dejándose al menos 3 milímetros entre el borde del objeto a capturar y la carta. Si no cupieran todas las cartas en el mismo lado del documento, se repartirán en los márgenes derecho e inferior. Las cartas no interferirán con los bordes del documento, de manera que se pueda registrar completa la forma del objeto.

3.2.3 Capturas de cartas de control independientes a las tomas

Por cada lote de documentos que se capturan exactamente con las mismas condiciones y parámetros de captura se harán las siguientes capturas complementarias de cartas de control:

- Una captura de la carta de color colorchecker® completa junto a una carta de parches de densidad tipo Q13 (con incrementos de 0,1 OD

desde el valor 0,05 OD hasta al menos un valor de 1,95 OD, aunque preferiblemente con mayores niveles de densidad y pasos) y una carta de resolución PM-189. Esta captura permitirá hacer controles independientes de calidad tonal, cromática y de registro de detalle espacial. Su nombre será “lote N _colton”, siendo sustituida la “ N ” por el número de lote que le corresponde, que será asignado por el operador de dispositivo de captura controlando que en ningún caso haya coincidencia de número entre un lote y otro. Los números de lote tendrán los mismos caracteres de extensión, usándose ceros delante hasta completar la extensión máxima necesaria para contener a todos los números. Cuando el encuadre requerido para capturar la obra no permita obtener la imagen completa de la carta de mayor tamaño se puede recurrir a una disposición de cartas montadas, tal como la que reflejamos en el siguiente ejemplo, que incorpora una carta de densidades Stouffer, una colorchecker® mini y un fragmento de carta PM-189.

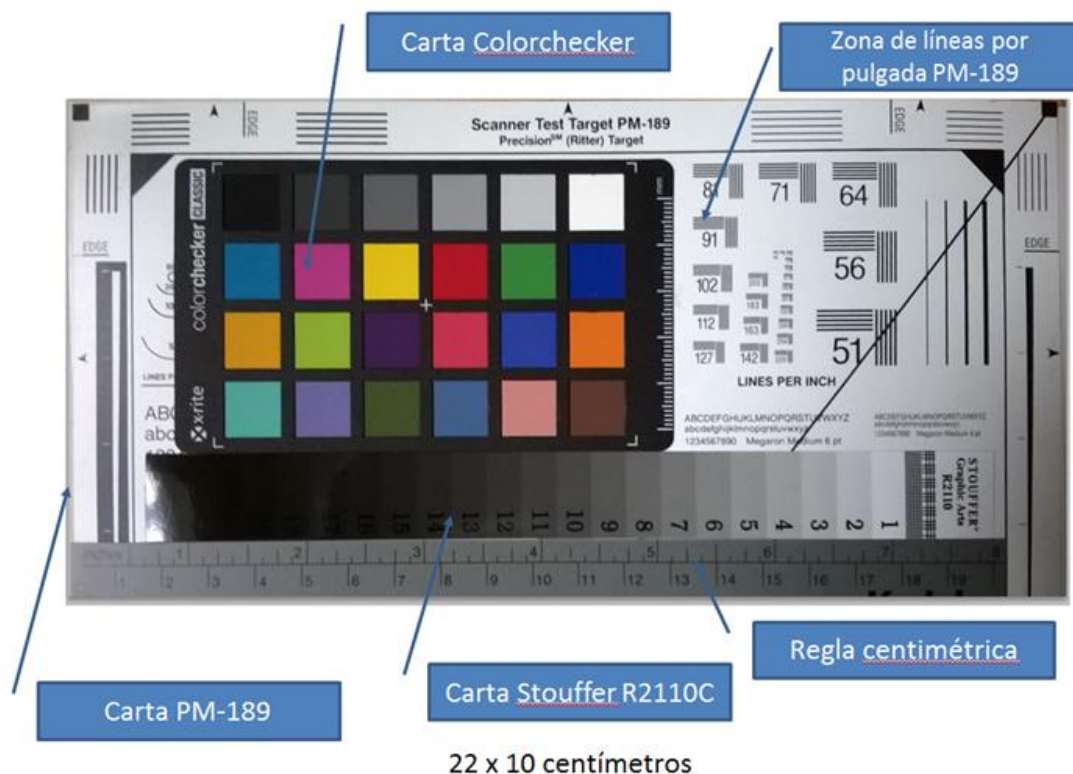


Figura 45. Ejemplo de disposición de diferentes cartas de control en las capturas

Ante obras o documentos de menor tamaño se puede seguir reduciendo la disposición de cartas recortando incluso algunos de los parches de menor densidad, como puede observarse en el siguiente ejemplo.

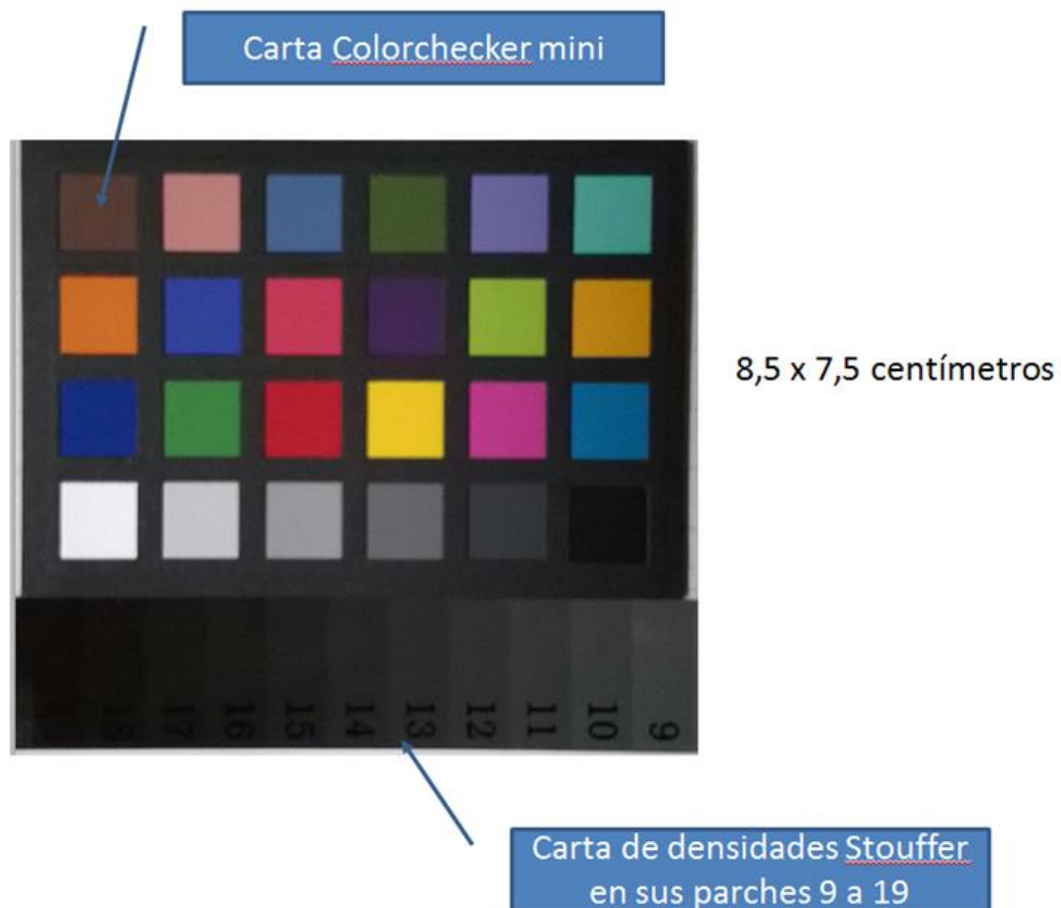


Figura 46. Ejemplo de disposición de diferentes cartas de control en las capturas

Para las capturas de documentos de incluso menor tamaño se pueden hacer tres capturas consecutivas de diferentes de cartas de control: la colorchecker® pequeña (6x9 cm), los parches más densos de la carta de densidades Stouffer R2110C (1x9 cm), y la zona de pares de línea por milímetro o de líneas por pulgada de la carta PM189 (5x5 cm). Los nombres de fichero, en estos casos, llevarán además a la derecha un identificativo del nombre de la carta abreviado a menos de 15 caracteres, como por ejemplo, *lote006_colton_colorchecker.tif*.

Primera toma, que incluye regla milimétrica junto a la carta colorchecker®:



Figura 47. Ejemplo de disposición de carta de colores en pequeño formato

Segunda toma de parte de la carta Stouffer:



Figura 48. Ejemplo de disposición de carta de densidades en pequeño formato

Tercera toma, de parte de la carta PM-189:

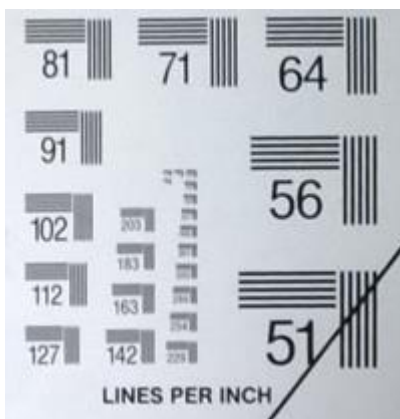


Figura 49. Ejemplo de disposición de carta de patrones de líneas en pequeño formato

Recalamos la idea de que el encuadre de las tomas de las cartas debe ser exactamente el mismo que el encuadre del original, pues cualquier cambio de distancia de toma o de enfoque que se aplique a las cartas o a los originales respectivos puede alterar el registro de las características físicas respecto a tono, color o información espacial (detalle gráfico), lo que invalida totalmente el uso de las imágenes de las cartas. Por ello, aunque la superficie

de las cartas sea menor que la de los documentos a capturar no se debe cambiar el encuadre ni el enfoque ni la distancia de captura.

- Una captura una cartulina blanca colocada sobre la superficie de originales con. A través de esta captura se podrá hacer un control de uniformidad en la iluminación. Su nombre será “loteN_illum”, siendo sustituida la “N” por el número de lote que le corresponde.
- Captura de una carta rejilla. Esta captura facilitará la comprobación del grado de distorsión óptica de las capturas. Su nombre será “loteN_opt”, siendo sustituida la “N” por el número de lote que le corresponde.

Estas capturas se harán exactamente con las mismas condiciones y valores de captura y almacenamiento que los ficheros máster.

La nomenclatura, organización y forma de ubicación de estos ficheros de control seguirán los siguientes establecidos más arriba en el epígrafe dedicado al sistema de organización.

Con las imágenes de las cartas de control se podrá hacer un control de calidad automatizado que permita conocer el rendimiento en calidad tonal, cromática y espacial. Así como detectar problemas de aberraciones o de presencia de artefactos de distorsión.

3.2.4 Variables técnicas de captura y de fichero

3.2.4.1 Versiones máster

Se tendrán que crear y archivar imágenes digitales de cartas de control tonales y de color, así como de la carta usada para la generación del perfil ICC del dispositivo de captura. También se recomienda que se haga lo mismo con una carta de resolución y de uniformidad de iluminación. Estas imágenes se crearán ante cada cambio de parámetros y condiciones de captura e iluminación durante la digitalización y deberán quedar perfectamente referenciadas con respecto a las imágenes a que corresponden. La finalidad de estas cartas es poder hacer evaluaciones objetivas de calidad de las capturas o afinar los procesos posteriores de edición digital que se requieran.

También se recomienda que se haga un proceso de evaluación de calidad objetivo del dispositivo y condiciones de captura, que tendrá que quedar reflejado en un informe técnico que se adjuntará a las imágenes digitales.

Por las muestras analizadas, se concluye que es preciso recomendar los siguientes valores de captura:

- Profundidad de bit de salida de 8 bits por canal de color.
- Sistema de color RGB.
- No aplicación de ninguna operación de edición digital ni ajustes de contraste o color.
- Espacio de color del dispositivo de captura, con perfil de color ICC incrustado en las cabeceras de los ficheros.
- Resolución espacial de captura no menor a 400 píxeles por pulgada, que habrá de ser revisada si se encuentran dibujos o pinturas con anchos de trazo muy pequeños. El equivalente en píxeles por centímetro es 157,48.
- Formato de fichero TIFF 6.0 sin compresión.

3.2.4.2 Versiones derivadas

Los parámetros recomendados son:

- Profundidad de bit de salida de 8 bits por canal de color.
- Sistema de color RGB.
- Conversión a espacio de color sRGB desde el espacio de color del sistema de captura, mediante propósito de conversión colorimétrico relativo al medio o perceptual.
- Resolución espacial de 200 píxeles por pulgada.
- Formato de fichero JPEG JFIF con compresión JPEG, procurando ratios de compresión nunca mayores a 8:1 de promedio.

Se recomienda como dispositivo de captura una cámara fotográfica digital de formato medio y altas prestaciones con unas resoluciones ópticas lo suficientemente amplias como para conseguir los 400 píxeles por pulgada para todos los tamaños de documentos. La cámara deberá estar equipada con un stand de reproducción y un sistema de iluminación no agresivos para los dibujos y que permita una buena uniformidad en la iluminación. Como sistema de iluminación se recomienda luz de flash, fluorescentes calibrados o LED, pero no luz incandescente. Una alternativa puede ser un escáner de gran tamaño apto para la captura de obras de arte.

3.3 Positivos fotográficos

3.3.1 Dispositivo y herramientas de captura

Se admitirá el uso de una cámara fotográfica digital en un modelo profesional o de un escáner de plataforma de tipo fotográfico, esto es, diseñado específicamente para dar buena calidad de color y rango dinámico en materiales fotográficos. No se recomiendan los escáneres planetarios, dado el bajo rango dinámico y niveles de ruido que les suele caracterizar. Sin embargo, parece detectarse en los últimos años una mejora significativa en el diseño de algunos modelos de escáneres de este tipo, por lo que se admitirá esta opción, siempre y cuando se haga una evaluación previa del modelo que dé como resultado el cumplimiento de las pautas de calidad aportadas en estas directrices.

3.3.2 Elementos de control por toma que deben ser capturados junto a las obras

Serán idénticos a los descritos en el apartado dedicado a los dibujos y otras formas de expresión autógrafas sobre soporte opaco.

3.3.3 Capturas de cartas de control independientes a las tomas

Serán idénticos a los descritos en el apartado dedicado a los dibujos y otras formas de expresión autógrafas sobre soporte opaco.

3.3.4 Variables técnicas de captura y de fichero

3.3.4.1 Versiones máster

Se recomienda tanto para las imágenes en blanco y negro como para las de color estos valores: formato TIFF sin compresión, 48 bits de profundidad de bit, sistema de color RGB. Para los fotogramas de los contactos se recomienda la misma resolución que para los negativos, 2500 píxeles por pulgada. Para las copias por ampliación en papel, 400 píxeles por pulgada.

Se recomienda hacer un perfil ICC específico del dispositivo de captura que se incrustará en las cabeceras de los ficheros. No se recomienda la edición de los másteres, ni ninguna operación de ajuste de contraste o color.

Se crearán y archivarán imágenes digitales de cartas de control tonales y de color, así como de la carta usada para la generación del perfil ICC del

dispositivo de captura. También se recomienda que se haga lo mismo con una carta de resolución y de uniformidad de iluminación. Estas imágenes se deberán crear por cada cambio de parámetros, valores y condiciones de captura e iluminación durante la captura y tendrán que quedar perfectamente referenciadas con respecto a las imágenes a que corresponden. La finalidad de estas cartas es poder hacer evaluaciones objetivas de calidad de las capturas o afinar los procesos posteriores de edición digital que se requieran.

También se recomienda que se haga un proceso de evaluación de calidad objetivo del dispositivo y condiciones de captura, que quedará reflejado en un informe técnico que se adjuntará a las imágenes digitales.

3.3.4.2 Versiones derivadas

Se recomienda para las imágenes resultado de copia fotográfica por ampliación una resolución de 200 píxeles por pulgada, formato y compresión JPEG con un ratio de compresión alrededor de 10:1, 8 bits por canal de color y espacio de color sRGB.

Para los fotogramas, los mismos parámetros, salvo que la resolución espacial será en el ancho de 2000 píxeles.

3.4 Diapositivas, transparencias en color o blanco y negro y negativos fotográficos

3.4.1 Dispositivo y herramientas de captura

Se podrá utilizar un escáner específico de diapositivas y negativos con calidad profesional. No se admitirá el uso de un escáner de plataforma con adaptador de transparencia a menos que sea de alta calidad profesional para Artes Gráficas y pase todos los requisitos de calidad de estas directrices.

También se podrá usar una cámara digital profesional de gama alta con un rango dinámico suficiente para captar el margen de densidades de los originales.

Se permitirá hacer capturas en HDR si se da la circunstancia de un reducido grupo de documentos que desborda, por su alto margen de densidades, la capacidad en rango dinámico del dispositivo de captura, cuando éste es apto para el grueso de documentos del mismo tipo del fondo.

3.4.2 Elementos de control por toma que deben ser capturados junto a las obras

Para formatos pequeños (35 mm e inferiores) no se usarán cartas de control junto a los documentos. Para el resto se empleará una carta de parches de densidad sobre soporte traslúcido, similar a la carta Stouffer Transmission Step Wedge Part. No. T3110 calibrada que vemos en la siguiente imagen. Se puede recortar esta carta a la mitad de forma longitudinal para reducir la superficie de captura, conservándose la pare numerada.



Figura 50. Carta Stouffer Transmission Step Wedge Part. No. T3110

Si el documento fuera de gran tamaño, se puede acoplar a los laterales una carta de resolución sobre soporte traslúcido de reducidas dimensiones, similar a la carta Stouffer 1-T Resolution Guide o Danés Picta FS1, que mostramos a continuación.

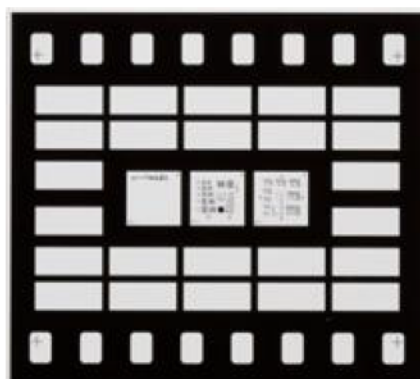
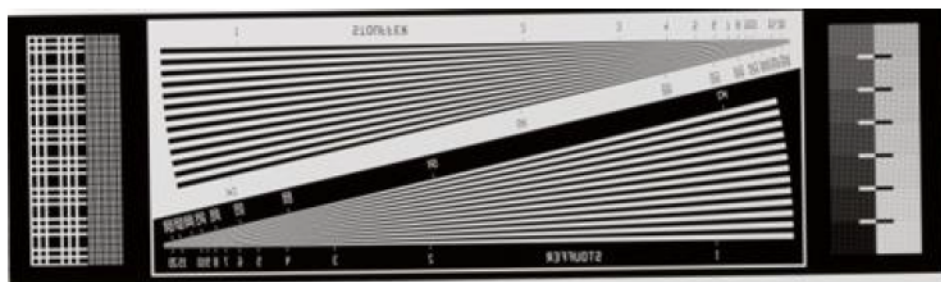


Figura 51. Cartas Stouffer 1-T Resolution Guide o Danés Picta FS1

También puede acoplarse una carta de color IT8 en formato diapositiva de 35 mm, extraída de su marco, como la que mostramos seguidamente.

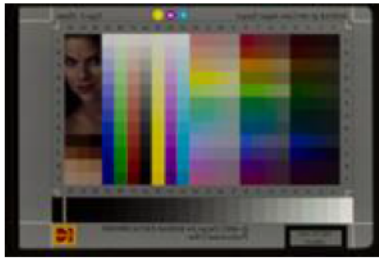


Figura 52. Carta IT.8 en formato traslúcido 35 mm

3.4.3 Capturas de cartas de control independientes a las tomas

Para estas capturas proponemos el siguiente combinado de cartas, ya que permite cubrir a un coste no muy alto todos los controles de calidad requeridos para este tipo de originales con un coste no muy elevado:

- Carta de pasos de densidad Stouffer TP35 calibrada (con los datos densitométricos tomados por el fabricante justo antes del envío postal). Su tamaño es el de un fotograma de película de 35 mm.
- Carta IT-8 diapositiva. Su tamaño es el de un fotograma de película de 35 mm.
- Carta de resolución de Danés Picta FS1 (Transmissive For Scanners). Su tamaño es el de un fotograma de película de 35 mm. Presenta líneas de tamaño apropiados para resoluciones de captura muy elevadas de hasta 5000 ppp.
- Carta de resolución Stouffer 1-T Resolution Guide. Está carta permite complementar la carta de resolución anterior ante documentos de tamaño grande, pues presenta tamaños de línea apropiados para capturas a resoluciones entre 50 y 500 ppp.

La regla milimétrica es innecesaria dado el tamaño normalizado de las cartas IT8 y Danés Picta.

En la imagen siguiente (figura 53) vemos el combinado de cartas anterior, con otra carta extra de pasos de densidad, en una posible disposición de toma para documentos de medio o gran tamaño. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha son las cartas: Danés Picta FS1, Stouffer Transmission Step Wedge Part. No. T3110 Calibrada, IT8 diapositiva, Stouffer 1-T Resolution Guide, y Stouffer TP35.

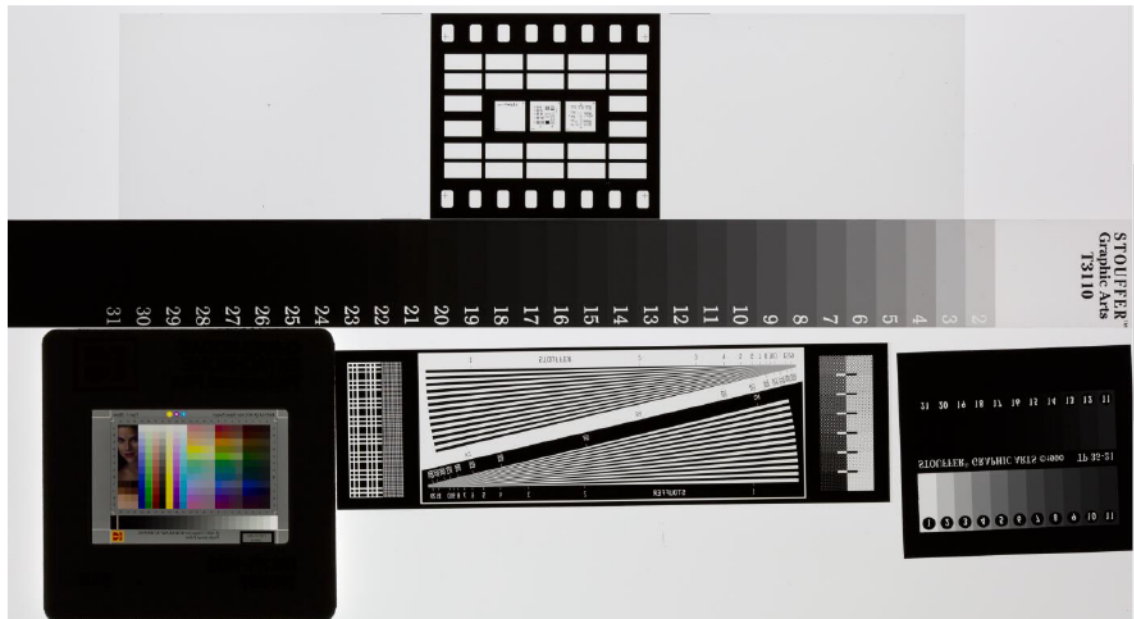


Figura 53. Disposición de diferentes cartas sobre soporte traslúcido

Para originales de 35 mm o formato inferior se hará la captura independiente de cada carta de control. En las imágenes siguientes vemos una posible secuencia de toma ante negativos o diapositivas de 35mm.

- Primera toma, pasos de densidad de la carta Stouffer TP35:

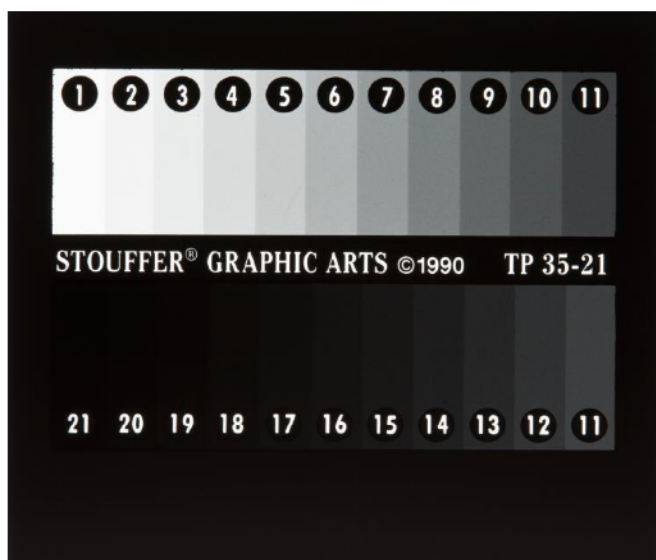


Figura 54. Carta Stouffer TP35

- Segunda toma, IT8 color diapositiva:



Figura 55. Carta IT.8 traslúcida

- Tercera toma, carta de resolución Danés Picta FS1 de 35 mm:

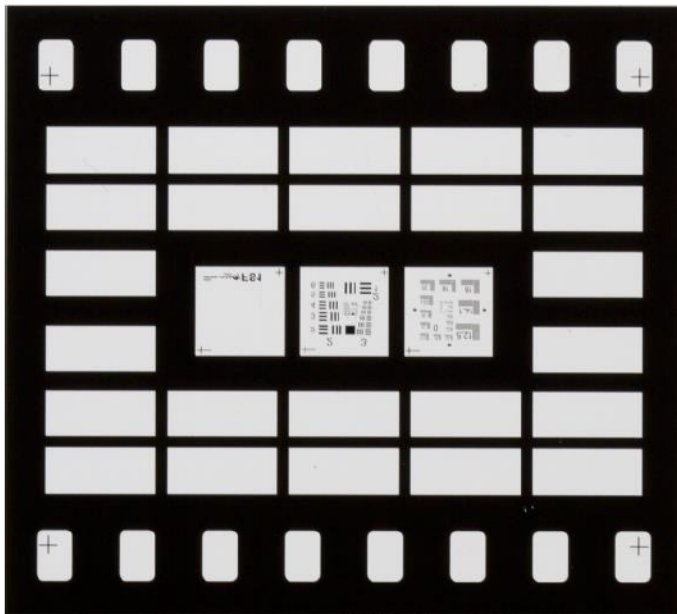


Figura 56. Carta Danés Picta FS1 de 35 mm

En esta secuencia no sería necesario capturar la carta de resolución Stouffer 1-T Resolution Guide, por las altas resoluciones de captura que se aplican a las fotografías de 35 mm.

Recordamos que el encuadre de las cartas debe ser exactamente el mismo que el de los documentos, ajustándose lo más posible al tamaño de los documentos. Para documentos de tamaños mayores a las cartas no es preciso coincidencia en superficie entre cartas y documentos, ya que las cartas tienen suficientes elementos de control como para ser de utilidad incluso ocupando un área de pequeño tamaño en la imagen digital.

El nombre de los ficheros de las cartas de control será “loteN_colton”, siendo sustituida la “N” por el número de lote que le corresponde, que será asignado por el operador de dispositivo de captura de manera que en ningún caso haya coincidencia de número entre un lote y otro. Los números de lote tendrán los mismos caracteres de extensión, usándose ceros delante hasta completar la extensión máxima necesaria para contener a todos los números.

3.4.4 Variables técnicas de captura y de fichero

Las emulsiones de las fotografías han de colocarse mirando a cámara, para evitar la merma de calidad que puede suponer la captura por el lado contrario a la emulsión.

Para los formatos de película de 35mm, 16mm o medio se recomienda un escáner profesional para la digitalización de diapositivas. Para las placas de tamaños mayores se recomienda usar un escáner plano con adaptador de transparencias con alto rango dinámico, o en su defecto una cámara digital con un negatoscopio. La cámara digital tendrá un alto rango dinámico, o, en su defecto, se harán las digitalizaciones usando la técnica HDR. Esta técnica implica varias tomas fotográficas digitales con diferente nivel de exposición que luego tiene que ser montadas en una única toma mediante un procesado HDR. Este procesado es lento y necesita de la intervención humana para la preparación del proceso y revisión de calidad, por lo que incrementa considerablemente los costes de la captura, pero si el número de materiales a aplicar esta técnica no es muy amplio, puede ser perfectamente asumible.

3.4.4.1 Versiones máster

Se necesita evaluar el material y hacer pruebas de captura para determinar mejor los valores de captura y almacenamiento idóneos. De entrada, entendemos que la captura máster de los formatos de película fotográfica, considerando que salvo contadas excepciones el formato es medio, debería tener al menos 2500 píxeles por pulgada, sistema de color RGB, profundidad de bit de 16 bits por canal, y salida a formato de fichero TIFF sin compresión.

Si se optara, finalmente, por el uso de una cámara digital, habrá que dilucidar sobre la idoneidad de conservación de los formatos RAW nativos de la cámara además de los másteres en formato TIFF.

Las imágenes a color deberán ser objeto de gestión de color con la creación de un perfil ICC ad hoc a través de carta IT8 para transparencias. Los másteres tendrán incrustado este perfil de color específico en las cabeceras de los ficheros.

No se hará ningún proceso de edición digital a estas versiones.

Se conservará en un fichero propio la imagen digital que contiene la captura de la carta IT8 o colorchecker® empleada para la caracterización del dispositivo de captura mediante perfil ICC.

Habrán de crearse y archivar-se imágenes digitales de las cartas de control tonales y de color aplicadas para cotejar la calidad de las capturas. También se recomienda que se haga lo mismo con una carta de resolución y de uniformidad de iluminación. Estas imágenes deberán crearse por cada cambio de parámetros y condiciones de captura e iluminación durante la digitalización, y tendrán que quedar perfectamente referenciadas con respecto a las imágenes a que corresponden. La finalidad de estas cartas es poder hacer evaluaciones objetivas de calidad de las capturas o afinar los procesos posteriores de edición digital que se requieran.

También se recomienda que se haga un proceso de evaluación de calidad objetivo del dispositivo y condiciones de captura, que quedará reflejado en un informe técnico que se adjuntará a las imágenes digitales.

3.4.4.2 Versiones derivadas

El procesado para obtener las versiones derivadas será automatizado mediante procesos por lotes. Empleándose como valores recomendados:

- Sistema de color RGB.
- Profundidad de bit de 8 bits por canal.
- Resolución espacial de 2000 píxeles en el lado más grande.
- Compresión JPEG con calidad alta o muy alta.
- Formato JPEG JFIF.
- Conversión a espacio de color sRGB desde las versiones másteres, con propósitos de conversión colorimétrico relativo al medio.
- No se hará ningún proceso de edición digital a estas versiones.

3.4.4.3 Versiones máster de negativos

El negativo de 35 mm tiene una gran densidad de información por superficie, especialmente cuando la toma fotográfica se hace con película profesional de alta calidad y con un equipo de captura y procesado químico profesional. Es de estimar estas características en la colección de negativos del fondo fotográfico de Espacio P, por ello recomendamos valores de captura en alta norma, que quedan concretados en el siguiente listado:

- Resolución espacial. Para el cálculo de la mejor resolución espacial de un negativo hay que considerar la capacidad resolutive de la película. Si no se tuviera este dato disponible, será de utilidad el uso de su valor ISO. Los expertos en digitalización de este tipo de materiales recomiendan que se utilicen valores de resolución espacial de captura con sensibilidades de película de hasta 100 ISO comprendidos entre los 4.000 y 5000 ppx por pulgada (ppp); de entre 100 y 400 ISO, entre 2.500 y 3.200 ppp; y para valores ISO mayores de 800, resoluciones comprendidas entre los 2.000 y 2.500 ppp. Debemos ser conscientes de que a menor sensibilidad de la película menor presencia de grano en la imagen fotográfica original y viceversa. No obstante, hemos de considerar que el valor ISO no determina exclusivamente el detalle presente en la imagen fotográfica; también lo determina la calidad de la óptica del objetivo fotográfico, la calidad del enfoque, si se ha movido o no la cámara durante la toma y el procesamiento fotográfico. Pese a esta aseveración, pensemos que este tipo de recomendaciones nos ofrecen un margen de seguridad: es muy factible que en 64 ISO haya más detalle que en 400 ISO. Como no conocemos de antemano los valores ISO ni las capacidades resolutive de las películas usadas en los materiales a digitalizar proponemos como medida de seguridad una resolución espacial de 4000 ppp.
- Sistema de color RGB para negativos en color.
- En escala de grises 16 bits para negativos en blanco y negro.
- Profundidad de bit de 16 bits por canal de color o grises.
- Salida a formato de fichero TIFF sin compresión.
- El máster habrá de ser la imagen positiva equivalente del negativo. La inversión de la polaridad y la eliminación de máscara naranja se hará durante el proceso de captura y postprocesado. Para ello se utilizará un software de captura profesional que cuente con funciones avanzadas de eliminación de máscara y corrección de color en el paso desde la imagen negativa a la positiva.
- Las imágenes a color deberán ser objeto de gestión de color con la conversión, durante el proceso de captura y positivado, a un espacio de color de gama alta y que soporte profundidades de bit de 16 bits por canal RGB, tal como Adobe RGB o Prophoto RGB. El espacio de color tomará la forma de un perfil de color ICC incrustado en la cabecera del fichero máster.
- Las imágenes en escala de grises llevarán un perfil de grises de gamma 2.2.
- No se hará ningún proceso de edición digital a estas versiones, salvo las necesarias para invertir la polaridad del negativo en un positivo.

- Se capturará una imagen de una carta de control de color y de resolución con las mismas condiciones de captura y procesado que los negativos original, que tendrán que ser almacenadas en ficheros en formato TIFF sin compresión y custodiadas junto al resto de ficheros de la colección. Estas cartas servirán para la realización de procesos de control de calidad posteriores.

Se tendrá que emplear un escáner profesional de película negativa. Los escáneres de película de uso doméstico que podemos adquirir a un módico precio no sirven para escaneados profesionales, ya que su calidad para negativos es pésima. Habrá que asegurarse que el escáner no se limita sólo a hacer la inversión de los colores del negativo para obtener el positivo. Las bases plásticas de las películas fotográficas de negativo no son incoloras, incorporan una máscara de color naranja o gris que puede derivar en fuertes dominantes de color o desajustes de contraste en la imagen digital final resultante. Esas dominantes deben ser compensadas por el escáner, pues de lo contrario, su proceso de corrección posterior puede resultar muy costoso.

3.4.4.4 Versiones derivadas de negativos

El procesado para obtener las versiones derivadas será automatizado mediante procesos por lotes. Empleándose como valores recomendados:

- Sistema de color RGB.
- Profundidad de bit de 8 bits por canal.
- El valor de resolución espacial será 2000 píxeles en el lado más grande.
- Compresión JPEG con calidad alta o muy alta.
- Formato JPEG JFIF.
- Conversión a espacio de color sRGB desde las versiones másteres, con propósitos de conversión colorimétrico relativo al medio.
- No se hará ningún proceso de edición digital a estas versiones.

3.5 Documentos textuales

Incluyen documentos del fondo escrito, en cualquiera de sus tipos documentales y medios (cartas manuscritas, mecanografiados, documentos impresos personales, etc.)

Se recomienda su captura externalizada, debido al previsible abaratamiento de precios de esta opción. En este caso, estas especificaciones deben ser respetadas por las empresas de digitalización.

Para las páginas o caras de soporte que no presenten ningún elemento de valor plástico se obviará el cumplimiento de los rangos admitidos en calidad cromática y tonal, excepto en ruido y recortes tonales.

3.5.1 Dispositivo y herramientas de captura

Se admitirá el uso de escáneres de plataforma, escáneres planetarios y cámaras fotográficas digitales profesionales. Los dispositivos habrán de pasar los controles de calidad establecidos en estas directrices.

3.5.2 Elementos de control por toma que deben ser capturados junto a las obras

Serán los mismos que los que se describen en el apartado dedicado a dibujos y otras formas de expresión autógrafas sobre soporte opaco. Se permitirá obviar estos elementos, excepto la carta milimétrica, cuando se trate de páginas o caras que no presenten elementos de valor plástico, excepto en documentos con letra manuscrita.

3.5.3 Capturas de cartas de control independientes a las tomas

Serán las mismas que las descritas en el apartado dedicado a dibujos y otras formas de expresión autógrafas sobre soporte opaco. Se podrán obviar estos elementos cuando se trate de páginas o caras que no presenten elementos de valor plástico, excepto en documentos con letra manuscrita.

3.5.4 Variables técnicas de captura y de fichero

3.5.4.1 Versión master

Se hace preciso hacer un análisis pormenorizado de patrones de captura por tipología de documentos de acuerdo a su medio y a las características de los medios, ya que este conjunto documental parece contar con una amplia diversidad: texto manuscrito, texto mecanografiado, imágenes tramadas, trazos manuscritos con bocetos, arte de línea...

Se recomiendan los siguientes valores de captura:

- Formato TIFF sin compresión.
- 24 bits de profundidad de bit.
- Sistema de color RGB.
- Se hace preciso analizar una muestra suficientemente representativa por cada tipo de medio. Para texto manuscrito y mecanografiado, entre 300 y 400 píxeles por pulgada puede ser suficiente, pero para otros medios no.

Se recomienda hacer un perfil ICC *ad hoc* del dispositivo de captura que se deberá incrustar en las cabeceras de los ficheros. No se aconseja la edición de los másteres, ni ninguna operación de ajuste de contraste o color.

Se crearán y archivarán imágenes digitales de las cartas de control tonales y de color, así como de la usada para la generación del perfil ICC del dispositivo de captura. También se recomienda que se haga lo mismo con una carta de resolución y de uniformidad de iluminación. Estas imágenes se crearán ante cada cambio de parámetros, valores y condiciones de captura e iluminación durante la captura y deberán quedar perfectamente referenciadas con respecto a las imágenes a que corresponden.

También se recomienda que se haga un proceso de evaluación de calidad objetivo del dispositivo y condiciones de captura, que quedará reflejado en un informe técnico que se adjuntará a las imágenes digitales.

3.5.4.2 Versiones derivadas

Se recomiendan los siguientes valores:

- Resolución de 200 píxeles por pulgada.
- Formato y compresión JPEG con un ratio de compresión alrededor de 10:1.
- 8 bits por canal de color.
- Espacio de color sRGB.

Se recomienda la creación de ficheros PDF multipágina para documentos multipágina.

Tercera Parte

Requisitos de calidad para capturas con salida vídeo digital

Capítulo 4. Requisitos específicos de calidad para el medio audiovisual

4.1 Introducción

En este capítulo nos aproximamos a aquellos elementos de calidad que son específicos del medio audiovisual, tratando el aseguramiento de calidad, el control de objetos digitales resultantes del proceso de captura y las variables técnicas de captura y fichero.

Las variables técnicas y procedimientos de captura y procesado del medio audiovisual divergen significativamente con respecto al medio imagen raster, lo que justifica la separación de medios que presentamos en nuestro trabajo, con un apartado dedicado expresamente a los contenidos audiovisuales.

4.2 Especificaciones del control de calidad

4.2.1 Alternativa elegida para los másteres

Seguimos manteniendo el mismo concepto de fidelidad que el expresado para las obras de tipo gráfico en sus especificaciones. Las versiones másteres deben ser fieles a la información original que se captura, no admitiéndose la alteración de la señal electrónica original ni para su atenuación ni para su incremento. Los másteres deben registrar con fidelidad las características visuales y sonoras de las cintas de vídeo analógicas o los soportes cinematográficos, sin alteración. Esto significa que su código digital debe ser representativo de la señal analógica o fotográfica original, no admitiéndose la eliminación de defectos propios de la degradación de aquella (ya sean originales ya presentes en el momento de uso por los artistas o causados por la degradación física de las cintas por el paso del tiempo o por condiciones inadecuadas de custodia).

Desde esta perspectiva, sí sería admisible la realización de versiones derivadas restauradas digitalmente que puedan funcionar a modo de

másteres complementarios, debiendo quedar, en ese caso, registrado en un documento técnico, que se almacenará, en formato PDF, en la carpeta padre correspondiente a los ficheros digitales de esa cinta.

4.2.2 Requisitos previos a las capturas de video

La empresa de servicios de captura o el equipo interno con esta función tendrá que suministrar una descripción de los procedimientos de trabajo y herramientas que van a ser aplicados en lo que respecta a:

- La recepción de los materiales a capturar.
- La evaluación de estado de conservación de los soportes y la comunicación de problemas o imposibilidad de reproducción de éstos.
- La evaluación, registro escrito y comunicación de los problemas de calidad por deficiente conservación de la señal de imagen y de audio, que deberá coincidir, cuando así proceda, con lo asentado en la normativa técnica del proyecto o, en su defecto, ser consensuado con los responsables del proyecto.
- El procedimiento de aseguramiento de calidad, que coincidirá con lo asentado en la normativa técnica del proyecto o, en su defecto, ser consensuado con los responsables del proyecto.
- La captura, codificación y almacenamiento en fichero de los contenidos de los soportes de cinta o película.
- El procedimiento de aseguramiento de calidad propio, que concordará con lo asentado en la normativa técnica del proyecto o, en su defecto, ser consensuado con los responsables del proyecto.
- Los sistemas de protección física y de confidencialidad de los originales y de los ficheros resultantes de la digitalización.
- La entrega de los originales y de los ficheros digitales.

El equipo responsable del proyecto tendrá que aprobar estos procedimientos y herramientas antes de la firma del contrato o comienzo del trabajo.

Se remitirán a las empresas de servicio de captura muestras representativas del conjunto de soportes a capturar para su digitalización. Desde dentro del proyecto se analizarán las capturas de las muestras recibidas para comprobar su idoneidad, antes de dar por aprobado los procedimientos de captura y codificación.

La empresa de servicios, por su parte, habrá de aprobar por escrito el seguimiento de las especificaciones técnicas, organizativas y de aseguramiento y control de calidad postcaptura presentes en la normativa de calidad del proyecto, haciendo constancia tanto de la aprobación como del

detalle de estas en el cuerpo principal del contrato o en un anexo referido necesariamente en aquel. Cualquier variación de estas especificaciones deberá ser consensuada previamente con el equipo responsable del proyecto.

Cuando el equipo de captura detecte que una cinta tiene un daño que impide su reproducción o la hace arriesgada, habrá de notificarlo, previamente a cualquier otra actuación sobre ella, al equipo del proyecto, para que se pueda consensuar una actuación que evite el mayor deterioro del soporte.

Las pruebas técnicas a realizar para garantizar la calidad de las capturas se ajustarán a los siguientes requerimientos⁷²:

1. Las herramientas de calibración usadas (tal como vectorescopios, monitores de forma de onda, monitores de audio...) tendrán que ser calibradas con respecto a un patrón de barras de color y tono de referencia estandarizado, preferiblemente el SMPTE *Engineering Guideline EG 1-1990 reference bars*. Los sistemas de reproducción y visualización analógicos de las cintas y de captura digital deben ser calibrados con respecto a un patrón de barras de color y tono conocido antes de la captura, preferentemente el citado anteriormente.
2. Si el patrón de barras y tono está presente en la cinta, los técnicos de captura evaluarán la idoneidad de que las señales de audio y vídeo se ajusten sobre este, ante el riesgo de alterar posibles ediciones analógicas de color y contraste realizados por el autor de la obra o de la grabación en bruto vehiculada en la cinta con intencionalidad creativa. Nunca se usará el patrón como referencia de calibración o ajuste si se ha considerado que no es representativo del contenido o ha sufrido alteración en su señal causada por problemas de conservación de la cinta.
3. Asimismo, se procederá con mucha cautela a la hora de utilizar referencias de calibración o ajuste del propio contenido icónico de la señal (tal como la presencia de cielo, hierba, objetos de color conocido, tono de la piel, etc.), pues, si se ha aplicado edición analógica de color o tonal de manera creativa, ésta podría ser reversada durante la captura, alterándose así el significado plástico de la obra original.
4. No se deben ajustar los niveles máximo y mínimo de luminancia y crominancia con los límites de emisión legales en USA (que marcan 100 IRE⁷³ para la máxima luminancia y 7,5 IRE para la mínima⁷⁴). Esta

⁷² Estos requisitos se han elaborado partiendo de la obra de Barbara Goldsmith *Digitizing Video for Long-Term Preservation: An RFP Guide and Template*. New York: Preservation & Conservation Department. New York University Libraries, 2013. Disponible en: <https://library.nyu.edu/preservation/VARRFP.pdf>

⁷³ IRE es la denominación de una unidad utilizada en la medición de señales de vídeo compuesto. Su nombre se deriva de las iniciales del Instituto de Ingenieros de Radio.

práctica se puede ver reflejada como recomendación en algunas directrices patrimoniales norteamericanas, pero su aplicación acarrea una compresión del histograma de las imágenes que puede llegar a derivar en algunos casos la pérdida de información tonal de la señal original, por lo que no es recomendable⁷⁵.

5. Para evitar el recorte o saturación de la señal de audio, durante las capturas su nivel debe ser ajustado de manera que no haya niveles que excedan de 0 VU, en un vúmetro (indicador de volumen) calibrado 0 - 20 dBFS⁷⁶ en un medidor digital calibrado.
6. El equipo técnico de reproducción de cintas de vídeo estará libre de errores de reproducción debidos a la inestabilidad mecánica de los registros analógicos en cinta, debiéndose emplear equipamientos electrónicos adicionales al propio reproductor que permitan corregir estos errores (*Time Base Corrector* –TBC- o *Frame Synchronizer*). Estos errores, que pueden ser especialmente frecuentes en los formatos VHS, se manifiestan como diferentes tipos de artefactos en la imagen que distorsionan seriamente su contenido original, tales como deformaciones del cuadro de la imagen, vibraciones verticales de la imagen o *flagging*. Los equipos TBC pueden a su vez llegar a introducir distorsiones en la señal original, por lo que se deberá evaluar el equipo TBC a utilizar para garantizar que no produce distorsiones adicionales que mermen la calidad de la señal original.
7. Se evitarán otros errores propios del sistema de reproducción o grabación de las cintas que pueden llegar a distorsionar la señal original de forma visible, tal como el denominado *head switching noise*⁷⁷, el *dot crawl*⁷⁸ o errores de velocidad⁷⁹.

Esta unidad se describe en el estándar UIT-R BT.470. Un rango de 8 bits (valores entre 0 y 255) equivale a un rango de 0 a 110 IRE.

⁷⁴ Cuando se trata de vídeo NTSC en Estados Unidos, los niveles de luminancia deben encontrarse entre 7,5 y 100 IRE. Este rango se suele denominar como "límite de emisión legal". Estos valores cambian en otros países que siguen el estándar NTSC, como Japón, que permite un rango de luminancia entre 0 y 100 IRE. La equivalencia a rango de 8 bits, que nos resulta más familiar, sería: 0 - 7,5 IRE = 0 - 16 ; 100 - 110 IRE = 235 - 255. Medido en rango de 0 a 255 el límite de emisión legal sería entre 16 y 235. En un rango de 10 bits los límites se sitúan entre 64 y 940.

⁷⁵ Podemos encontrar esta recomendación en el trabajo *Setup of Capture Hardware* de la obra *Digital migration tools and techniques* del Video Preservación Website. Disponible en: http://videopreservation.conservation-us.org/dig_mig/index.html

⁷⁶ dBFS es la sigla para "decibelios a escala completa". Se trata de una abreviatura para los niveles de amplitud de decibelios en sistemas digitales que tienen un nivel máximo disponible.

⁷⁷ Se trata de una distorsión de la señal de vídeo que se muestra comúnmente en la parte inferior de la pantalla durante la reproducción de vídeo VHS. Es debida a la interrupción de la señal cuando se produce el cambio de cabezal de lectura del reproductor de vídeo. En otros formatos también puede estar presente, pero es

8. Las pistas de audio en la cinta fuente original deben ser revisadas antes de la captura, para evitar el riesgo de que algún contenido de audio quede fuera de la captura.

En este tipo de fondos de archivo es frecuente encontrar materiales audiovisuales que no han sido realizados aplicando procedimientos técnicos de registro o ajuste con un alto nivel de profesionalización técnica, o cuyos soportes no se han conservado adecuadamente y dan lugar a la presencia de deterioros en la señal de audio o video. Por ello, volvemos a insistir en la idea de que la finalidad patrimonial, que debe subyacer a los criterios aplicados a la captura, impide la aplicación de procesos de ajuste, corrección o eliminación de problemas de calidad presentes en la señal, ante el riesgo de que se desvirtúen características plásticas que lejos de ser un defecto son parte de la expresión de un contenido artístico. La captura no debe nunca conllevar un proceso de restauración digital de lo que se considere a priori como una señal defectuosa.

4.2.3 Control de aseguramiento de calidad previo a la captura

Este control de calidad se aplica a los equipos y procedimientos de captura y procesamiento digital que se vayan a emplear en los procesos de digitalización, por lo que en caso de subcontratación, lo habitual será su realización por parte de los técnicos de las empresas de captura de documentos audiovisuales, quienes revisarán los equipos y las configuraciones de las aplicaciones para garantizar la calidad de la salida.

Es deseable que se haga este control justo a continuación de la configuración de los equipos y software de captura para la toma de un lote de documentos que requiera unas condiciones idénticas de captura. En estas pruebas se debe utilizar el mismo software, controladores y aplicaciones empleadas para capturar y procesar la información. Cualquier cambio de alguno de estos elementos durante la digitalización de un lote derivará en que las capturas siguientes sean consideradas como un nuevo lote, requiriéndose un nuevo control de calidad.

Las pruebas se basan en el envío de una señal sintetizada (consistente en patrones de barras de color, grises y resolución y tonos sonoros predeterminados por un estándar) que pasa a través del canal de

normalmente enmascarado. En la digitalización esta distorsión puede estar presente en los másteres y en los derivados.

⁷⁸ Se trata de un defecto vinculado al sistema de transmisión de señales de vídeo compuesto. Se manifiesta como una serie de puntos en movimiento que aparecen en áreas de color saturado.

⁷⁹ El error de velocidad se puede manifestar como líneas horizontales de color que atraviesan el ancho completo de la imagen.

digitalización y que es evaluada posteriormente. Esta señal funciona al modo de testigo que permite asegurar que cualquier señal que se envíe por este canal no es distorsionada en el flujo de trabajo de la digitalización. Con estas pruebas se trata de comprobar que las imágenes codificadas en los ficheros digitales mantienen las características técnicas originales en color, resolución, contraste, señal sonora y razón de aspecto (Goldsmith, 2013, p. 17). Se recomienda que, una vez configurado todo el flujo de trabajo de la digitalización en el equipamiento de reproducción de la cinta a capturar y de captura digital, se envíe desde un generador de señal la señal analógica de un patrón SMPTE Engineering Guideline EG 1-1990⁸⁰, que incorpore tanto el patrón visual como de audio. Esta señal, una vez digitalizada, tendrá que ser evaluada, en lo que respecta a imagen y sonido, de acuerdo a los parámetros de control de calidad postcaptura que describimos más abajo en el epígrafe dedicado a control de calidad postcaptura. Este control deberá hacerse ante cada cambio de ajustes de captura y por cada sesión de trabajo.

Algunos autores (Colloton, 2016) recomiendan incluso que la señal sintética del patrón SMTP sea captura por cada cinta, justo después de la captura de su contenido, y que sea añadida al final de la señal digital de este en el propio fichero máster resultante separada por un espacio en blanco. Así se facilita el control de calidad posterior a la captura para cada una de las cintas y el conocimiento posterior de los ajustes que han sido aplicados durante el proceso de digitalización, de manera que puedan reversarse éstos en cualquier momento. Esta práctica también es de gran utilidad para los trabajos de preservación digital, especialmente en los procesos de migración de los contenidos digitales a otros sistemas de codificación y formatos contenedores que sean requeridos en el tiempo para garantizar la no obsolescencia de la señal. También ayudará al control de calidad de las versiones derivadas que se generen desde los ficheros máster. El análisis del patrón SMPTE, mediante procesos de control de calidad automatizados o visuales y auditivos humanos, es relativamente sencillo y eficiente, por lo que es altamente recomendable este procedimiento.

Es necesario que la empresa o personal interno encargado de la realización de las digitalizaciones haga un informe técnico especificando los resultados de control de aseguramiento de calidad, donde explique por cada equipo, o por cada par equipo/condiciones de captura (si se aplican diferentes

⁸⁰ Existen en el mercado de la tecnología audiovisual profesional equipamientos electrónicos específicos para la generación de señales de referencia de vídeo y audio, que incluso incorporan herramientas de análisis de la calidad de la señal de estas referencias producida por el sistema a evaluar. Estas herramientas están pensadas, especialmente, para departamentos de ingeniería de televisión y radio en empresas de fabricación de dispositivos televisivos y radiofónicos o en cadenas de radio y televisión. Un ejemplo, es la gama de productos de prueba y medida de la casa Rohde&Schwarz. Podemos acceder a una descripción de estos productos en la sección de su Web *Test y medida para radiodifusión y aplicaciones multimedia*, disponible en: https://www.rohde-schwarz.com/es/productos/broadcast-y-multimedia/instrumentos-de-test-y-medida-de-radiodifusion/pg-instrumentos-de-test-y-medida-de-radiodifusion_63700.html

condiciones de captura con el uso del mismo equipo) las pruebas realizadas para confirmar el cumplimiento de las especificaciones de calidad y sus resultados. Se tendrá que identificar perfectamente cada equipo, indicando se fabricante y modelo. También se hará constar el objetivo del informe, la persona responsable de su realización y la organización para la que trabaja. Una copia de cada uno de esos informes será almacenada en la carpeta padre del proyecto, en una subcarpeta denominada “informes_tecnicos”. El formato del documento de informe será PDF; su nombre deberá cumplir las normas de nomenclatura definidas más arriba y contendrá un término que identifique fácilmente su contenido, tal como: “informe_pruebas_calidad_equip_video.pdf”.

4.2.4 Control de calidad postcaptura

4.2.4.1 Introducción

En estas pruebas consideramos un alto número de parámetros de evaluación, con la intención de que se pueda garantizar, en la medida de lo posible, la total fidelidad de las versiones digitales a las versiones analógicas. Exigimos pruebas de dos tipos, que se desarrollarán de forma complementarias:

1. Pruebas de tipo *no-reference*. Consisten en la evaluación de la imagen de vídeo y su sonido sin tener el original analógico digitalizado delante. El evaluador trata de identificar y señalar defectos típicos de la señal digital de estos medios que merman la fidelidad de la imagen. La pericia y experiencia del evaluar le ayudan a determinar si los defectos están ya presentes en la señal analógica original o han sido introducidos durante la digitalización, o aislar los casos dudosos que le llevarán a realizar una revisión de tipo *full-reference*. Este tipo de pruebas ahorra tiempo de trabajo, al no tener que ir cotejando el vídeo digital con una reproducción del original analógico.
2. Pruebas de tipo *full-reference*. Consisten en el cotejo visual de la versión digitalizada contra la analógica original, tratando de detectar diferencias y distorsiones introducidas en la digitalización. Son costosas en tiempo, por lo que las relegamos exclusivamente a la resolución de casos dudosos.

Contemplamos tanto pruebas manuales como automáticas. Esto es así ante la dificultad de poder apreciar de una manera completamente fiable la calidad de las digitalizaciones exclusivamente a través de pruebas automáticas, más tratándose de vídeos de cierta antigüedad que pueden presentar frecuentemente problemas de calidad en la señal analógica fácilmente

confundibles con problemas de la digitalización. Como se puede leer más abajo, muchas de las pruebas manuales se han diseñado para ser realizadas con el auxilio de herramientas informáticas que permiten partir de la detección automatizada de posibles problemas de calidad o que muestran gráficos que ayudan de manera muy visual e intuitiva a un operador formado a la detección de un posible problema con suma rapidez.

Es frecuente observar en la bibliografía especializada la aplicación de pruebas de control de calidad de imagen del tipo *no-reference* en digitalizaciones de vídeo completamente automatizadas y que se basan en algoritmos que trabajan sobre el brillo y contraste globales del cada frame, su nitidez y la presencia de artefactos, tales como bloques de compresión JPEG (Nandzik, Jan *et al.*, 2013). Estas pruebas son fácilmente automatizables, pero poco eficaces en fondos de vídeo que pueden presentar una alta diversidad de ambientes, condiciones originales de iluminación, efectos visuales y contenidos icónicos. Debido a esto, hemos desarrollado un sistema más complejo y costoso pero que puede evitar un alto número de falsos positivos.

La investigación en este tema se ha centrado en las pruebas perceptuales tipo *full-reference*, y, muy especialmente, en la calidad de los contenidos televisivos distribuidos a través de medios digitales mediante el cotejo de la señal digital previa a la transmisión y la recibida por los destinatarios. Podemos encontrar una amplia bibliografía e información sobre proyectos y estándares en esta línea de trabajo a través de algunas asociaciones, tales como la *International Telecommunication Union* (ITU)⁸¹, el *Institute for Telecommunication Sciences*⁸² o el *Video Quality Experts Group* (VQEG)⁸³. Estos métodos no nos resultan de utilidad, dada la disparidad de objetivos del tipo de aproximación *full-reference* de estos trabajos y de la requerida en el control de calidad de digitalizaciones de cintas analógicas.

4.2.4.2 Pautas generales

Es necesario que, una vez capturados los lotes y con las obras todavía en la sala de captura, se hagan las pruebas de calidad que describimos en los siguientes subepígrafes, de manera que se puedan detectar problemas de calidad y subsanarse sin necesidad de tener que volver a desplazar los documentos.

El control de calidad puede observar dos tipos diferentes de problemas en la señal de vídeo: defectos en la señal original de imagen o sonido o defectos introducidos por el proceso de digitalización. Los primeros no pueden ser considerados como un error del proceso de captura, al estar ya presentes en

⁸¹ La ITU ha publicado varias recomendaciones al respecto. Para profundizar sobre su contenido, recomendamos el tutorial *Objective perceptual assessment of video quality: Full reference television*, ITU: Geneva, 2004.

⁸² Sitio Web <http://www.its.bldrdoc.gov/>.

⁸³ Sitio Web <http://www.its.bldrdoc.gov/vqeg/links.aspx>.

el original. No obstante, se describirán en el informe de control a entregar por parte del digitalizador, en el que se identificará con exactitud el tipo de problema encontrado y los códigos de tiempo de comienzo y final del segmento afectado. Estos defectos no se corregirán en las versiones másteres, aunque sí que se admite la creación de una versión derivada o submáster con los mismos parámetros técnicos del máster y restaurada.

Los defectos introducidos por el proceso de captura sí deberán ser considerados, suponiendo el rechazo del contenido digital y una nueva digitalización.

Los defectos a controlar son⁸⁴:

1. Pérdida de fotogramas.
2. Ausencia de sonido presente en el contenido original analógico.
3. Incorrección de nombre de fichero.
4. Nombres de fichero que no se corresponden con la cinta o disco óptico al que aluden.
5. Faltan contenidos de la cinta de video original en su versión digital. No debe faltar la información de cabecera, que puede consistir en información de ajuste (barras y tono de calibración, negros, blancos...) o pizarra con datos de lo grabado.
6. Han quedado contenidos sin grabar por ubicarse en la misma cinta tras un espacio en blanco.
7. Falta de coincidencia de la relación de aspecto en la versión digital con respecto a la del original.
8. No todas las versiones digitales de cada contenido se pueden reproducir correctamente.
9. Hay fotogramas recortados.
10. Se han hecho ajustes cromáticos o de contraste que alteran las características tonales y de color de los contenidos originales.
11. Se han aplicado ajustes de audio que desvirtúan las características originales de la señal de audio original.
12. No se cumplen todas las variables técnicas de captura, codificación y formato de fichero dadas en el documento de especificaciones técnicas del proyecto. Para esta confirmación se recomienda la extracción de metadatos de los ficheros, tanto másteres como derivados, usando herramientas solventes, tales como *MediaInfo* y *Exiftool*.
13. Problemas de integridad. Para detectarlos se deberá comprobar que los códigos hash de cada fichero corresponden con los incluidos en los listados de control aportados por el equipo o empresa de

⁸⁴ Este listado se ha basado en la obra ya comentada de Barbara Goldsmith, *Digitizing Video for Long-Term Preservation: An RFP Guide and Template*.

digitalización. Para ello se usará una aplicación que permita obtener el código hash de todos los ficheros por lotes mediante el mismo algoritmo aplicado para generar los listados.

14. Aparecen artefactos, esto es, distorsiones de la señal digital, que no están presentes en la señal analógica de la cinta fuente original.

El control se hará sobre la totalidad de los documentos, preferiblemente. Si no fuera factible lo anterior, se podrá hacer sobre una muestra necesariamente aleatoria y suficientemente representativa. Es bueno que el control se haga de forma doble, un control visual y un control automatizado. Hemos de hacer constar que el control de calidad visual puede llegar a ser muy costoso en tiempo, fácilmente puede requerir un tiempo de desarrollo próximo a la duración del vídeo multiplicado por un factor de 2 o 3, para un operador suficientemente formado y entrenado.

Para el control visual se usará como referencia de artefactos posibles a detectar el *A/V Artifact Atlas* de la *Bay Area Video Coalition*⁸⁵. Para su ejecución se usará la herramienta QCTools (Quality Control Tools for Video Preservation)⁸⁶. En concreto el modo *Graphs layout*, que permite monitorizar los problemas de calidad con más de dos decenas de monitores de filtros para la señal de imagen y la de audio, tales como vectorescopio, visor de forma de onda, *bit plane*, diferencia de campo, etc. Sólo se considerará error cuando el artefacto esté presente en la imagen digital pero no en la señal analógica original. Por ello, ante la duda, se cotejarán los fotogramas digitales supuestamente afectados con sus correspondientes fotogramas analógicos originales.

Para el análisis más general, se usarán obligatoriamente los gráficos correspondientes a la ventana *Graphs layout*, pues permiten vislumbrar en una sola pantalla algunos de los principales defectos de calidad del video completo. Se atenderá a los gráficos: Y, U, V, Ydif, Udif y Vdif. En la siguiente imagen vemos representado un ejemplo de estos 4 gráficos.

⁸⁵ Esta herramienta está disponible en http://avaa.bavc.org/artifactatlas/index.php/A/V_Artifact_Atlas.

⁸⁶ Se puede descargar desde la Web de BAVC en <https://www.bavc.org/preserve-media/preservation-tools>.

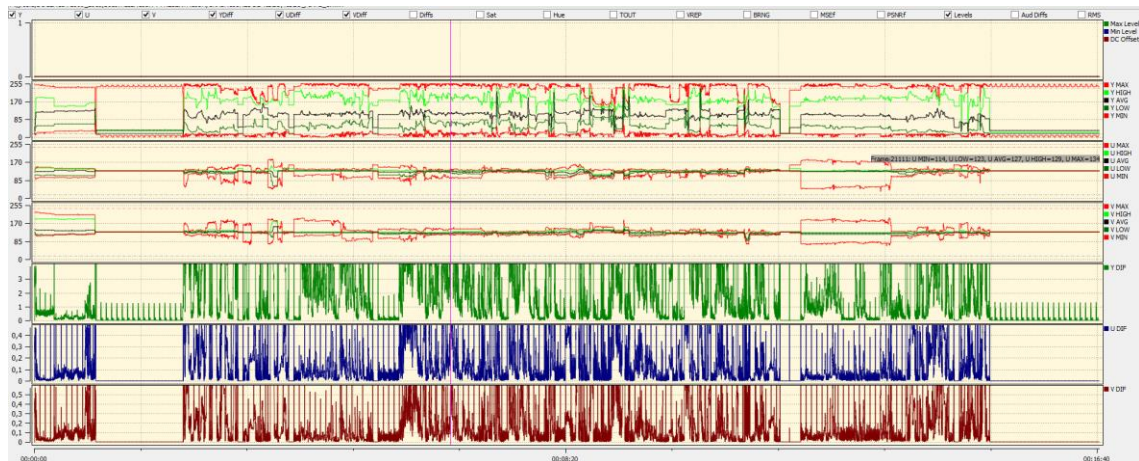


Figura 57. Ventana Graphs layout de QCTools

Cuando sobre el gráfico general se detecte un posible problema se activará la reproducción del frame posiblemente afectado y se aplicarán los filtros específicos que permitan analizar con más detalle el problema. Para ello, se ubica el cursor sobre la parte del gráfico que parece mostrar el artefacto y se hace clic con el botón izquierdo del ratón. A continuación se abre el cuadrado de la línea de frames, más abajo, que muestra la ventana de filtros playback y se analiza con detalle el frame afectado y los inmediatamente anteriores o posteriores. Este análisis secundario debe ser visual apoyado en los filtros específicos de la ventana del filtros playback. Por ejemplo, en la siguiente imagen, hemos ubicado la línea del cursor en lo que parece ser un problema de dropout (perdida de señal original)⁸⁷ de acuerdo a la información del gráfico de Diferencia YUV del gráfico general.

⁸⁷ Un dropout es una alteración de la señal de audio o vídeo que se manifiesta por la aparición de motas o líneas en lugar de la señal original. Puede considerarse, por consiguiente, como una pérdida de la señal original de vídeo. Puede deberse a diversas causas: pérdida de fragmentos de emulsión magnética, polvo, suciedad, defectos en el cabezal de lectura, etc. Mantenemos el término dropout en inglés porque es así como suele usarse en la literatura especializada en conservación de vídeo en español.

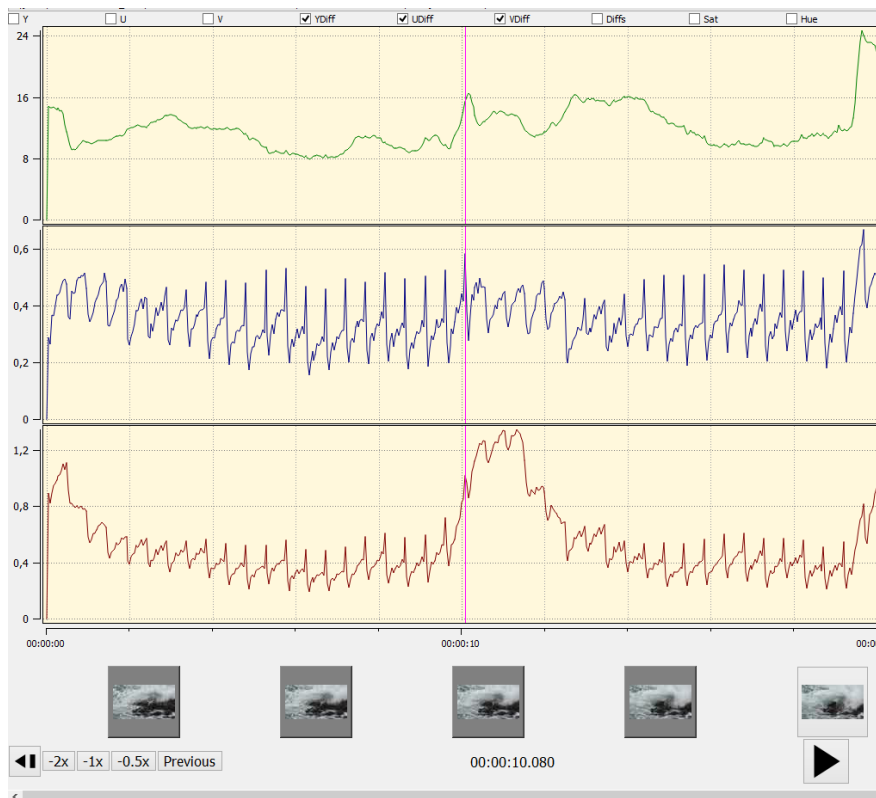


Figura 58. Ventana gráfico de Diferencia YUV del gráfico general de QCTools

A continuación hemos abierto la ventana de filtros playback (*Playback Filters*) para hacer un análisis visual de los frames afectados, hemos usado un filtro histograma para apoyar la apreciación visual del dropout.

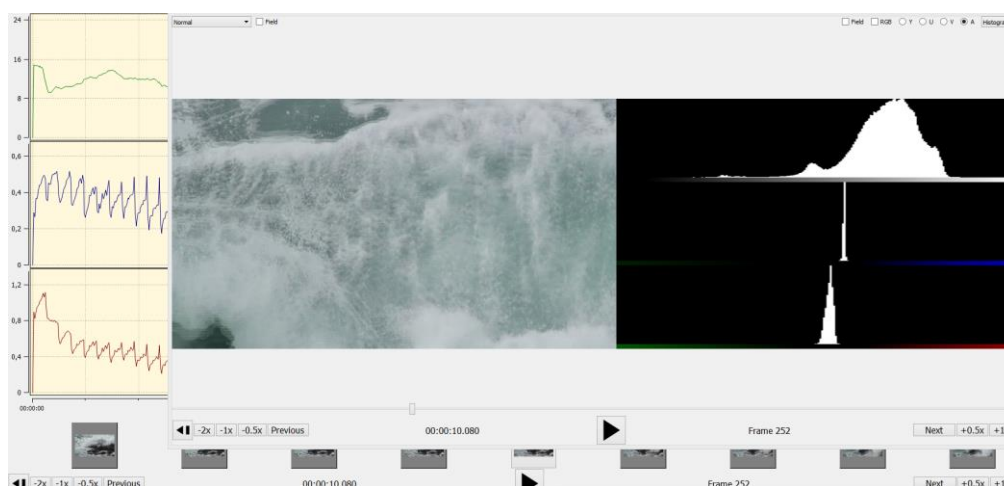


Figura 59. Ventana Playback Filters mostrando un filtro histograma de QCTools

Insistimos en que, si se duda sobre si el artefacto es heredado de la señal analógica o introducido en el proceso de digitalización, se deberá reproducir

la secuencia afectada en la cinta original y cotejar la imagen o sonido con el que presenta el vídeo digital.

Las entregas por parte de las empresas de digitalización serán, obligatoriamente, revisadas por personal del proyecto para asegurar que todas las cintas han sido digitalizadas y que todas las versiones de fichero han sido entregadas en la estructura de carpetas establecida y con la nomenclatura normativa.

También se revisará el cumplimiento de las variables técnicas de captura y almacenamiento digital y de lo relativo a metadatos incrustados. Para la revisión de las variables técnicas de captura⁸⁸ se pueden usar múltiples aplicaciones de exportación de datos técnicos de vídeo o ficheros⁸⁹ o incluso de edición de vídeo en su ventana de propiedades. Es útil también evaluar de forma automática la corrección de la codificación del fichero mediante la herramienta Jhove⁹⁰. Esta herramienta indica si el fichero se corresponde al formato representado por su extensión y a la versión expresada en los metadatos y si está bien formado con respecto a su especificación técnica oficial. Con la ayuda de un programador, se puede diseñar e implementar una herramienta informática de fácil ejecución que haga esta evaluación automáticamente. El coste de esta segunda opción será siempre inferior a la evaluación manual y visual, debido al consumo en tiempo que acarrea esta última.

La empresa o personal interno encargado del control de calidad postcaptura deberá hacer informes técnicos especificando sus resultados, donde explique:

- El tipo de pruebas realizadas.
- Los lotes revisados y el número de muestras tomadas.
- Los problemas detectados en la señal digital de imagen y de audio y la identificación de sus causas. Los datos irán asociados al código de identificación de la cinta (signatura topográfica) y su título, si lo

⁸⁸ Nos referimos a los valores de las variables que conforman las características técnicas de la señal digital en lo que respecta al contenido imagen y audio y al formato de representación y almacenamiento, tales como: profundidad de bit, espacio de color, remuestreo de color, sistema de compresión (códec), resolución espacial del cuadro, tasa de muestreo del audio, número de canales audio, formato contenedor, número de frames por segundo, tipo de escaneado (entrelazado/progresivo), ratio de aspecto, bitrate, tipo de bitrate, y fecha de codificación.

⁸⁹ Recomendamos Exiftool y MediaInfo. Ambas son de uso libre y gratuito y sin de alta fiabilidad. Permite extraer en ficheros de texto todos los metadatos técnicos del vídeo y audio con gran eficiencia. Exiftool puede ser descargado desde <http://www.sno.phy.queensu.ca/~phil/exiftool/>. MediaInfo desde <https://mediaarea.net/es/MediaInfo>. Los metadatos una vez extraídos puede ser almacenados en sistemas de preservación digital o en bases de datos, lo que ayudará a la gestión del fondo digital.

⁹⁰ Esta herramienta puede descargarse desde <http://jhove.sourceforge.net/>.

hubiere. Si estos problemas estaban ya presentes o no en la señal analógica.

- Los ficheros que han sido rechazados y sus causas (en su caso).
- Las medidas tomadas para su subsanación.
- El impacto para el cumplimiento de la programación del proyecto que han tenido esos problemas.

También se hará constar por cada informe, su objetivo, la persona responsable de su realización y la organización para la que trabaja. Una copia de cada uno de esos informes será almacenada en la carpeta padre del proyecto, en una subcarpeta denominada “informes_tecnicos”. El formato del documento de informe será PDF; su nombre habrá de cumplir las normas de nomenclatura definidas más arriba y contendrá un término que identifique fácilmente su contenido, tal como: “informe_pruebas_calidad_postcaptura_video.pdf”.

4.2.4.3 Pruebas de calidad visuales con apoyo automatizado para la señal de imagen

4.2.4.3.1 Pruebas de calidad usándose la ventana *Graphs layout*

Los defectos que se tratarán de detectar son:

1. Presencia de líneas o montículos verticales salientes en los valores de Y (Y max, Y high, Y average, Y low, Y min), representados por las líneas de color. Estas líneas verticales son generalmente indicativas de la presencia anómala de líneas blancas que no corresponden a la señal original en los frames de vídeo. Algunos ejemplos son⁹¹:

⁹¹ Los ejemplos han sido obtenidos en la ayuda del propio programa.



Figura 60. Ventana *Graphs Layout* de QCTools mostrando parámetros de luminancia

2. Presencia de líneas o montículos verticales salientes en los valores de U y V. Estos son generalmente indicativas de la presencia de artefactos tipo dropout que no corresponden a la señal original en los frames de vídeo. Algunos ejemplos son:



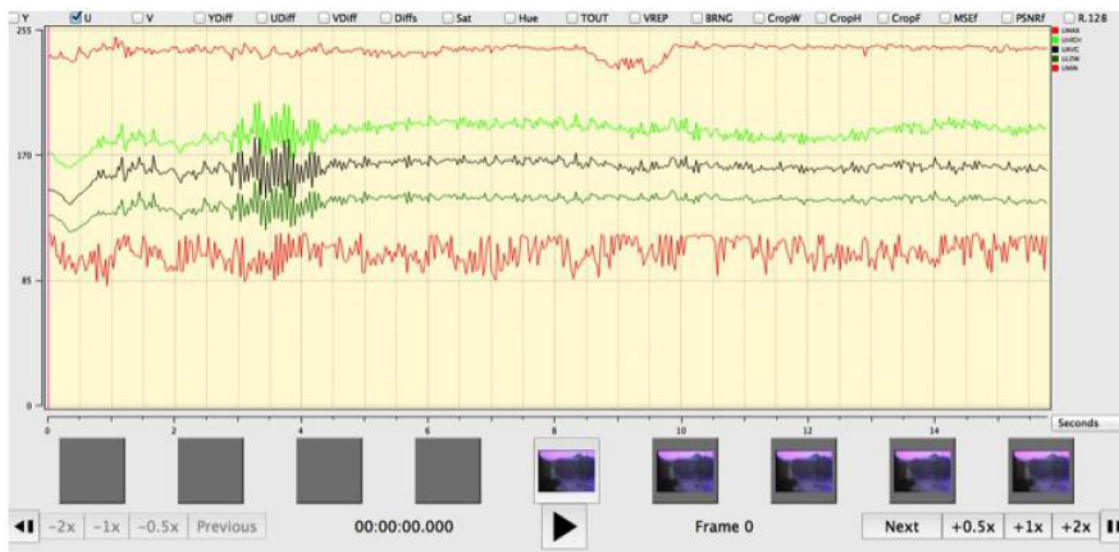


Figura 61. Ventana *Graphs Layout* de QCTools mostrando parámetros de U y V

3. Diferencia de valores Yuv. Se trata de tres filtros que seleccionan dos frames (fotogramas) sucesivos y restan los valores de uno con respecto al otro, con la finalidad de encontrar un cambio o diferencia entre ellos. Las diferencias se miden en píxeles y se muestran como líneas verticales o montículos que sobresalen de la línea base. Un cambio brusco de valores de crominancia y luminancia entre dos frames consecutivos refleja unos valores de diferencia notables, lo que es, normalmente, indicativo de que puede haber un artefacto. Hay que ser cauteloso con este indicador, ya que un cambio de plano, escena o secuencia se manifiesta también con una fuerte diferencia en valores Yuv entre dos frames consecutivos. También puede ocurrir este fenómeno en secuencias de movimiento muy rápido con imágenes con mucho detalle. En la siguiente imagen mostramos un ejemplo de este tipo gráfico, con picos de diferencia significativos. La gráfica verde muestra diferencia de Y, la azul de u y la marrón de v.

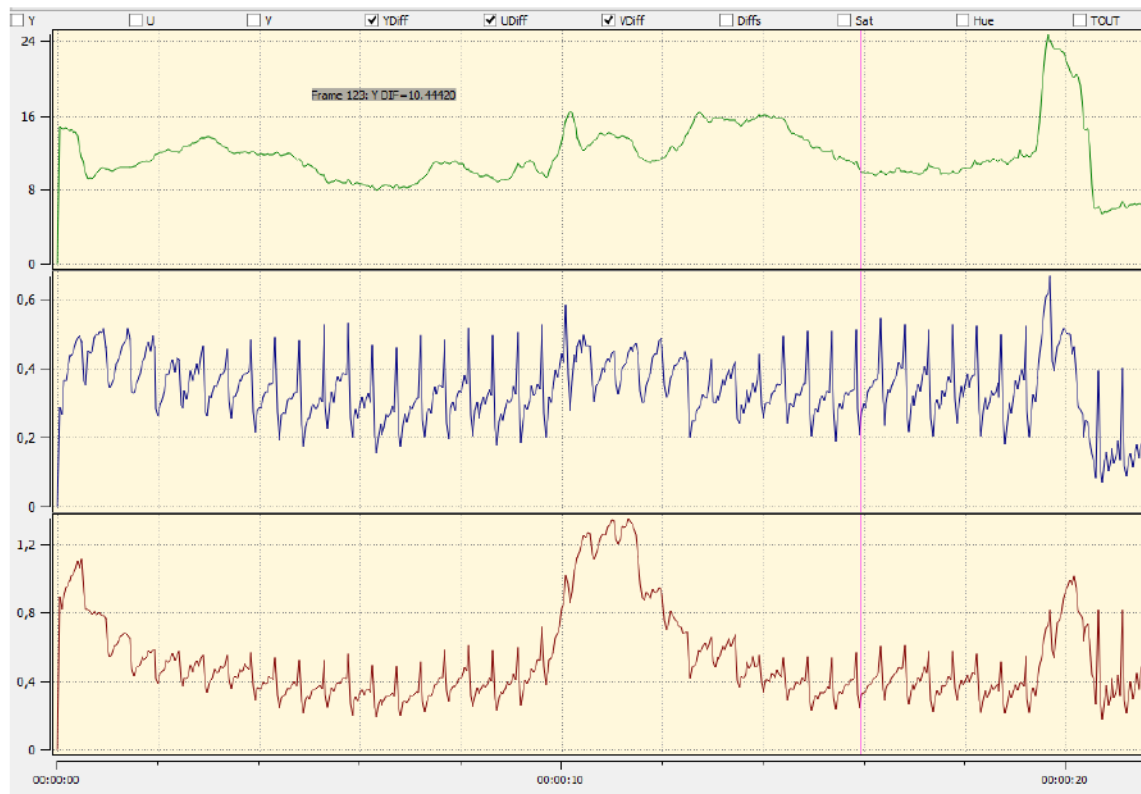


Figura 62. Ventana *Graphs Layout* de QCTools mostrando valores de diferencia Yuv

4. **Saturación.** Este parámetro representa la intensidad del color de la imagen. Unos valores altos de saturación son indicativos de que el color de la imagen ha sido procesado incorrectamente. Una cámara de vídeo es incapaz de registrar colores con valores muy altos de saturación, salvo un ajuste incorrecto de la señal. Por encima de 128 de valor de saturación se considera una señal incorrectamente tratada en el proceso de digitalización, por lo que se contralará que los valores de saturación no superan esta cifra. En el siguiente ejemplo mostramos un gráfico de saturación de una imagen muy poco saturada en color.



Figura 63. Ventana *Graphs Layout* de QCTools mostrando valores de saturación

5. *Temporal outliers*. Funciona hallando el promedio del valor del píxel que se analiza con el de los dos píxeles vecinos por encima y por debajo. Cuando el filtro detecta un valor de píxel que está alejado del promedio, su gráfico mostrará una línea vertical sobresaliente. Estas líneas corresponden a motas blancas en la imagen. El rango de 0 a 0,009 se puede considerar normal y cualquier valor por encima de ese rango puede manifestar un problema de calidad, por lo que debe ser investigado a través de la ventana de filtros visualizándose los fotogramas afectados con detenimiento. Es conveniente que en esta inspección se use el filtro *Temporal Outlier Pixels* en el panel de la derecha, este filtro mostrará sobre el frame analizado los valores atípicos (outliers). En la siguiente imagen vemos la manifestación de este problema. En la inmediatamente siguiente no se produce.

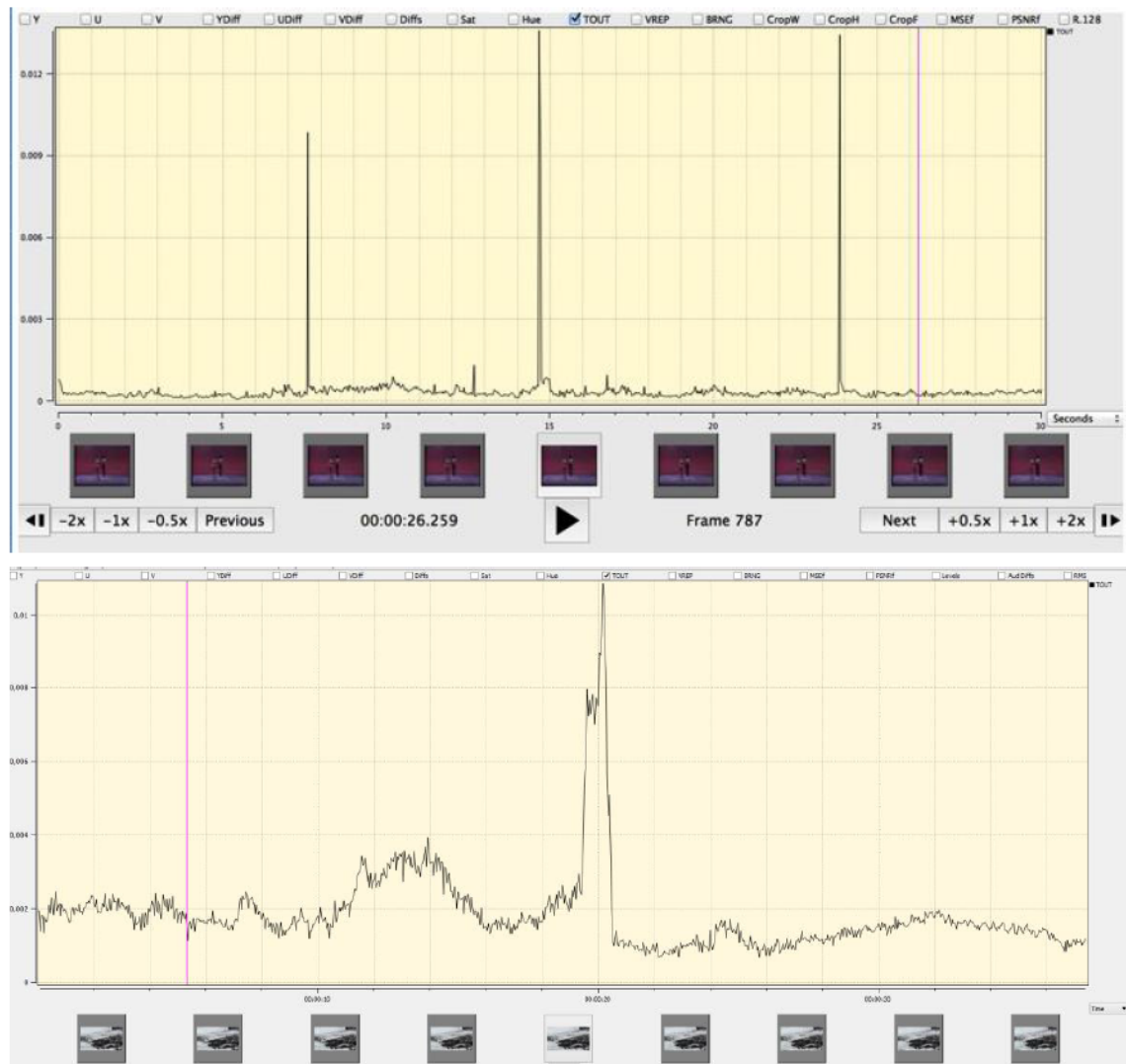


Figura 64. Ventana *Graphs Layout* de QCTools mostrando *temporal outliers*

6. Repeticiones de líneas verticales (*Vertical Line Repetitions* -VREP). Este problema suele ser frecuente en la digitalización de las cintas U-matic, cuando hay suciedad sobre la propia cinta o los cabezales de lectura del equipo de reproducción de la cinta. Las líneas repetidas obedecen al sistema de corrección de errores que aplica el VTR analógico (el reproductor de la cinta de vídeo) cuando detecta pérdida de señal en alguna línea. Cuando el sistema de corrección detecta que se ha producido una pérdida de señal en algunas líneas, reacciona repitiendo el valor de una línea en algunas de las consecutivas. Esas líneas repetidas pasarán a la señal digital durante el proceso de captura, pues la tarjeta digitalizadora toma la señal analógica de salida del VTR empleado en el proceso. El Filtro funciona señalando una línea del vídeo digital determinada y comparándola con otra línea de vídeo ubicada 4 píxeles más allá. Si la diferencia entre los dos es menor a

512, el filtro las considera suficientemente parecidas como para ser repetidas. En la siguiente imagen mostramos este problema.

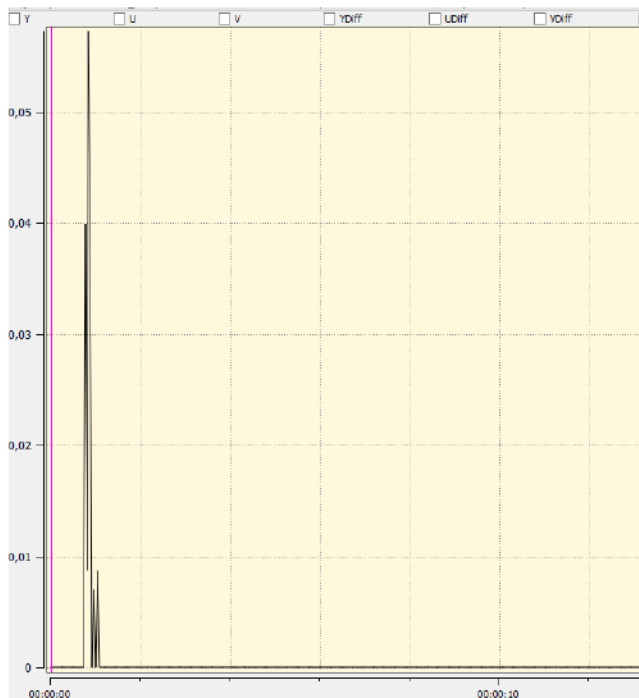


Figura 65. Ventana *Graphs Layout* de QCTools mostrando VREP

7. Error cuadrático medio (*Mean Square Error* - MSE)⁹². Este filtro muestra el MSE entre el campo 1 y el campo 2 de la imagen. Los valores más altos pueden ser indicativos de diferencias entre las imágenes de ambos campos en un vídeo entrelazado (o de líneas contiguas en uno progresivo), que no deberían producirse. En la siguiente imagen mostramos un ejemplo de problemas de este tipo.

⁹² El MSE es un parámetro que mide el promedio de los errores al cuadrado, manifestando la diferencia entre el valor calculado y el valor real correspondiente. En la aplicación que se está haciendo a la medida de calidad de la imagen de los fotogramas del vídeo, lo que hace es medir la diferencia de valor entre píxeles que deberían tener un valor muy próximo o idéntico, ya que corresponden a puntos de imagen del tamaño del píxel adjuntos (píxel inferior contra píxel superior), por ser áreas contiguas del mismo frame.

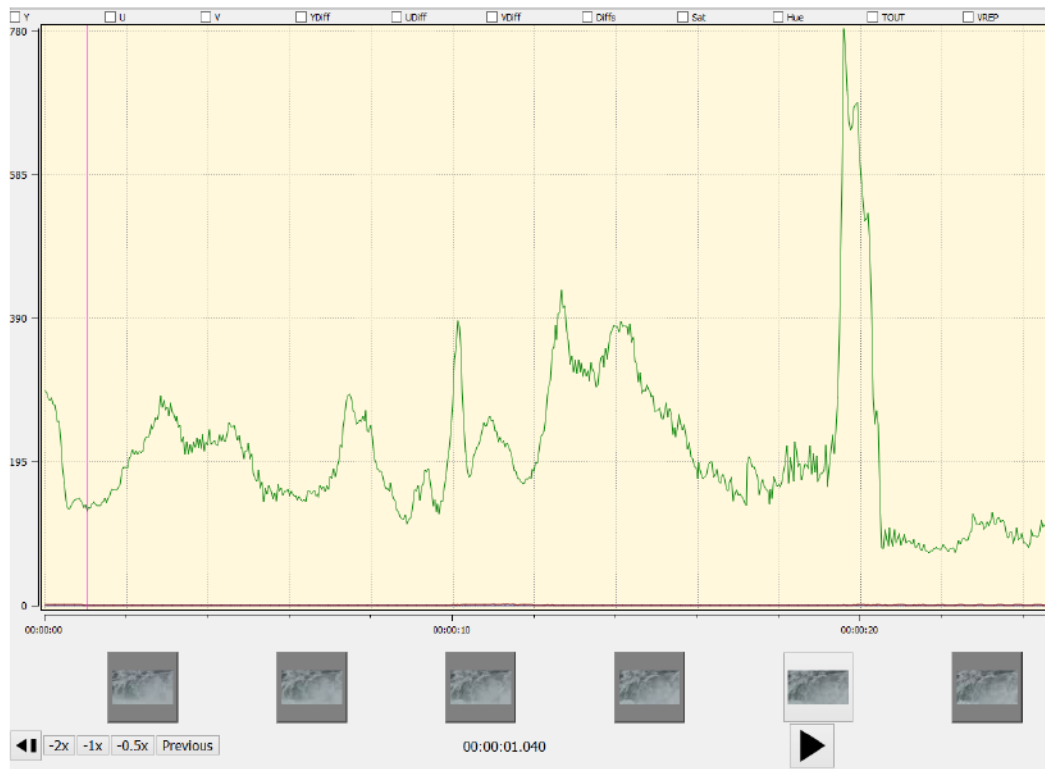


Figura 66. Ventana *Graphs Layout* de QCTools mostrando MSE

4.2.4.3.2 Pruebas de calidad usándose la ventana de filtros playback

Para el análisis más detallado de los problemas, se usarán, al menos, los gráficos correspondientes a los filtros de la ventana de filtros playback que listamos a continuación, por la gran ayuda que prestan para la identificación de errores en la señal de imagen y de audio, pero podrán usarse otros complementarios a juicio del operador de control de calidad. A juicio del operador de control de calidad, podrán usarse otros filtros aquí no mencionados:

1. *Value Highlights*. Este filtro ayuda a controlar el recorte de información en las luces con respecto al rango de luminancias admitidos legalmente en NTSC (235 sobre rango de 8 bits). Muestra la saturación del color (máximo valor digital) en color amarillo con la imagen en grises. Se analizará la abundancia de recortes en luces, acudiéndose a revisar la reproducción de la cinta original de forma comparada con la señal de video si se estima que ha podido haber recortes en luces por un mal ajuste de los controles de captura. Para su revisión se mostrará la versión digital sin filtros a la izquierda y la versión con filtro a la derecha, como mostramos en la siguiente imagen. En este ejemplo

podemos apreciar cómo hay zonas de la imagen de vídeo completamente recortadas.

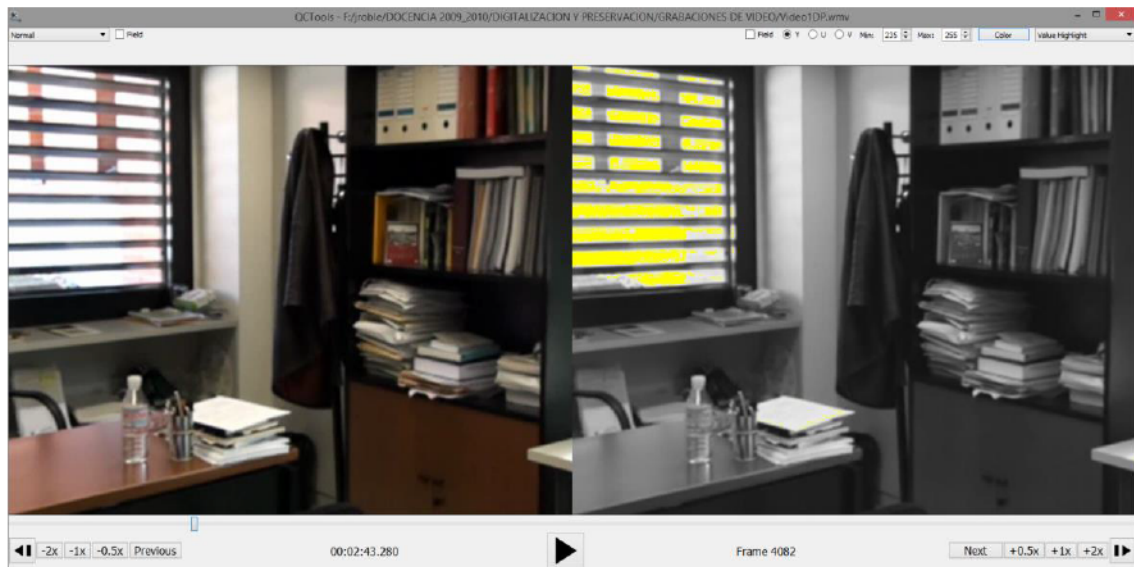


Figura 67. Ventana *Graphs Layout* de QCTools mostrando *Value Highlights*

2. *Temporal Outlier Pixels*. Muestra los valores atípicos en píxeles adyacentes señalándolos en amarillo.

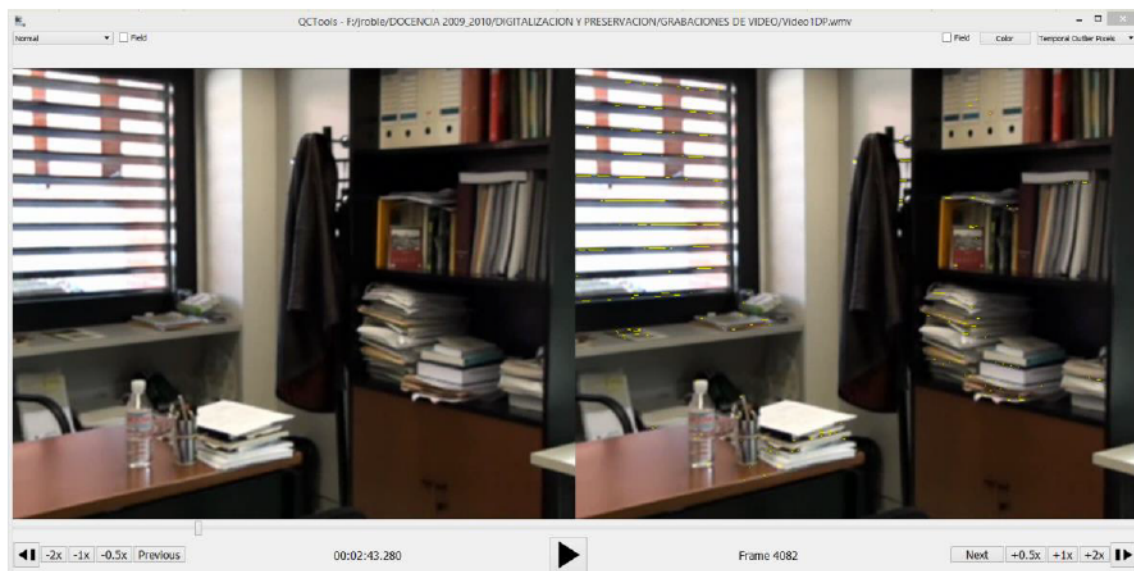


Figura 68. Ventana *Graphs Layout* de QCTools mostrando *Temporal Outlier Pixels*

3. Histograma. Muestra el histograma de los tres canales Yuv. Es utilísimo para detectar problemas de recortes de información en luces y

sombras, presencia acusada de posterización, o mala calidad general de la imagen.

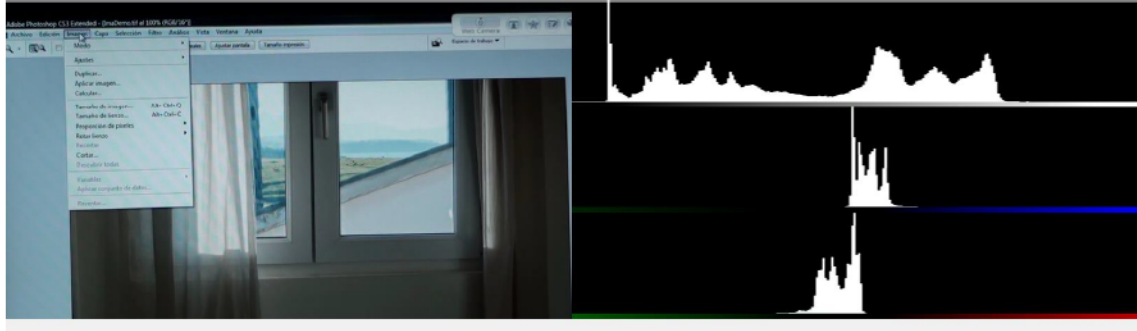


Figura 69. Ventana *Graphs Layout* de QCTools mostrando histogramas de los canales Yuv

4. Forma de onda. El monitor de forma de onda se usa para medir el brillo, o el componente de luminancia, de una señal de vídeo (forma de onda Y). También pueden acoplar la información de crominancia (forma de onda YC). Podemos acceder a esta función mediante el editor Adobe Premier Pro®. En este editor la forma de onda Y muestra un gráfico que presenta la intensidad de la señal en el clip de vídeo. El eje horizontal del gráfico corresponde al fotograma de la imagen de vídeo analizado (de izquierda a derecha) y el eje vertical es la intensidad de la señal en unidades llamadas IRE (siglas que provienen del *Institute of Radio Engineers*). La forma de onda Y muestra la información de luminancia como una forma de onda verde. Los objetos brillantes producen un patrón de forma de onda (áreas de color verde brillante) cerca de la parte superior del gráfico, mientras que los objetos más oscuros producen una forma de onda hacia la parte inferior. La forma de onda YC también muestra la información de crominancia como una forma de onda azul. La información de crominancia se superpone sobre la forma de onda de luminancia⁹³. Mostramos un ejemplo de este tipo de gráfico en Adobe Premier Pro®. En la primera imagen se muestra sólo la forma de onda Y. Como el fotograma tiene tonos oscuros, medios y claros de izquierda a derecha, la forma de onda muestra verde en los valores correspondientes a estos rangos tonales. La forma de onda refleja que las partes más

⁹³ Obtenido en https://helpx.adobe.com/es/premiere-pro/using/using-waveform-monitors-vectorscope.html#yc_waveform

brillantes se concentran a la derecha, donde siguen predominando los tonos medios y escasean los oscuros.

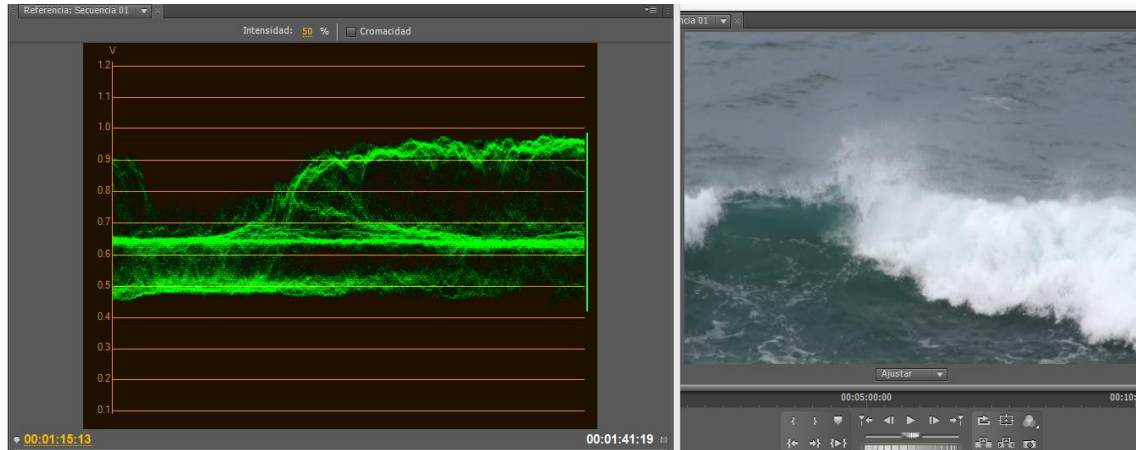


Figura 70. Monitor de forma de onda Y de Adobe Premier Pro®

La siguiente imagen muestra el mismo fotograma pero con la forma YC.

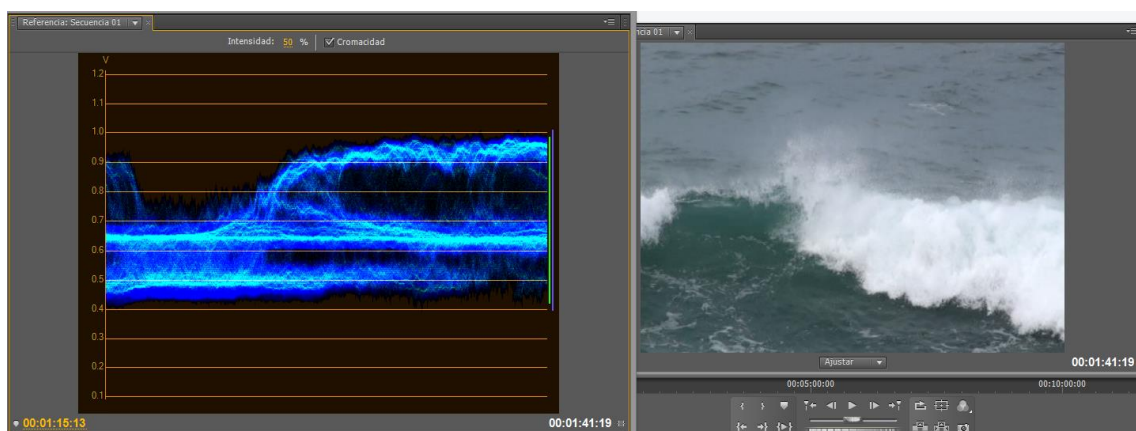


Figura 71. Monitor de forma de onda YC de Adobe Premier Pro®

A continuación, describimos de forma somera el interfaz de QCTools para esta herramienta. Los rangos se dan en escala de 8 bits por canal, esto es, de 0 a 255. Se representa el brillo (o canales de crominancia) del frame, cada columna corresponde a una columna de píxeles del frame. El intervalo de 0-16 (0 a 7,5 IRE) se resalta en azul e indica un valor de negro que está por debajo del rango legal de radiodifusión NTSC. El rango de 235-255 (100 a 110 IRE) se resalta en rojo, e indica un valor de blanco que está por encima del valor legal NTSC. En el siguiente ejemplo se muestra el brillo (canal Y); vemos como en el frame mostrado sólo se sobrepasa el rango legal NTSC en los blancos y en una pequeña porción de la imagen.

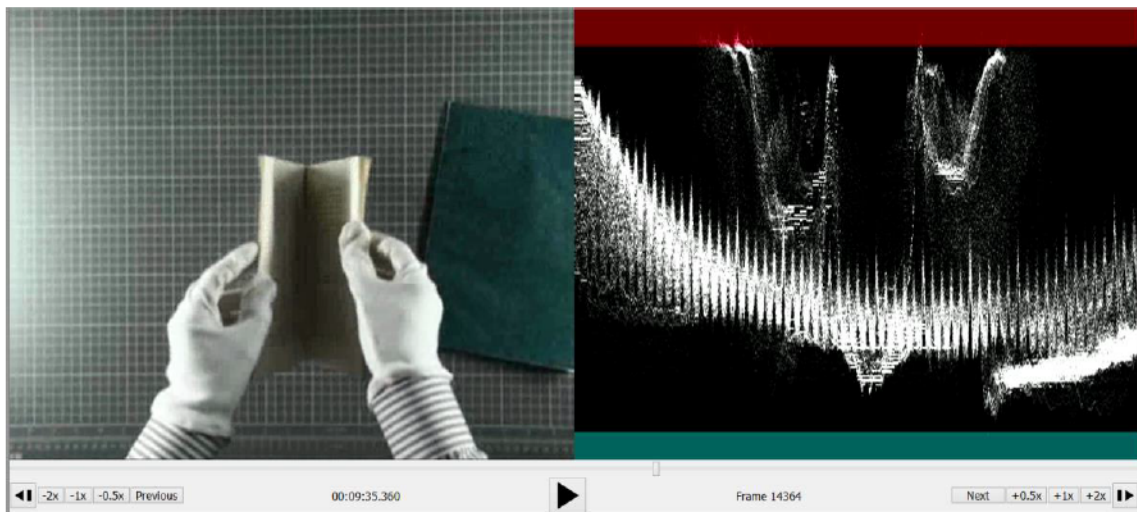


Figura 72. Monitor de forma de onda de QCTools

5. Selección de línea. Permite seleccionar una línea concreta del frame. Sobre esa línea se ejecuta el filtro forma de onda. Este filtro es muy útil cuando se trata de determinar, por ejemplo, la calidad tonal de un degradado en la imagen o de una escala de color o tonal que ha sido capturada como imagen de prueba. En el ejemplo siguiente se ha ejecutado este filtro sobre un vídeo que muestra una escala de parches de densidad kodak Q13 y debajo una carta colorchecker®. Se ha elegido una línea que pasa por los parches de densidad de la escala Q13 (representada por la línea amarilla). El gráfico de la señal Y (línea de color blanco) muestra claramente lo que el ojo no ve bien, que es la reproducción de los tonos más oscuros de esa escala.

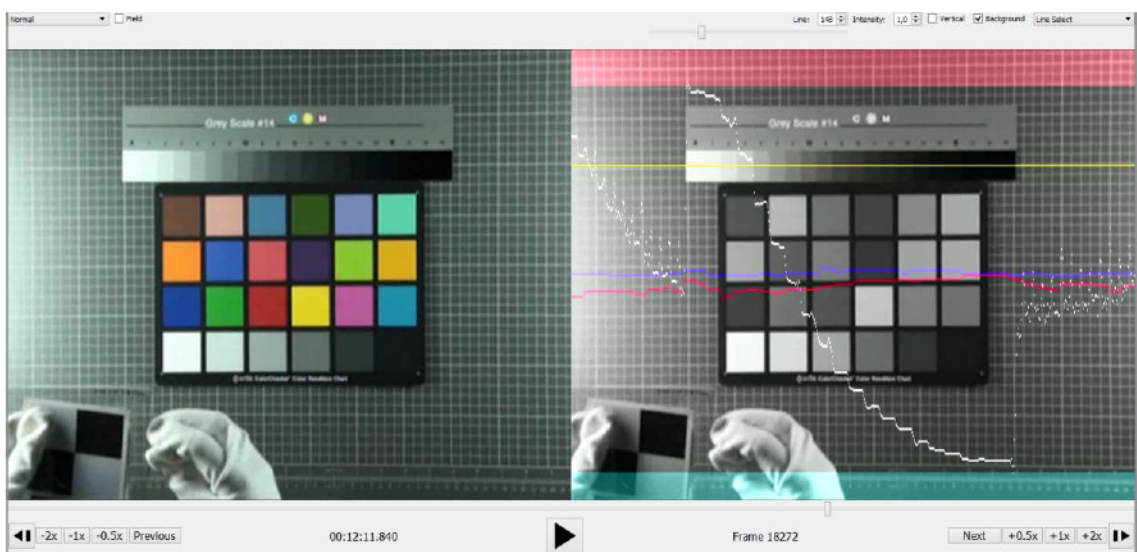


Figura 73. Ventana *Graphs Layout* de QCTools mostrando selección de línea

6. Vectorescopio. Su utilidad reside en el control visual que permite del grado de saturación de los colores de la imagen. Se trata de un monitor que muestra un gráfico circular, similar a una rueda de color, que presenta la información de crominancia de la señal de vídeo analógica o digital. Es común que este tipo de gráficos de control se incluyan en las herramientas de edición de vídeo profesional. Ponemos como ejemplo el Vectorescopio del editor Adobe Premier Pro®. La saturación se mide desde el centro del gráfico hacia afuera. Los colores intensos saturados producen un patrón a cierta distancia del centro del gráfico, mientras que una imagen en blanco y negro produce únicamente un punto en el centro del gráfico. El color, o tono, concreto de la imagen determina la dirección (ángulo del patrón). Los cuadros de destino pequeños indican donde deberían aparecer (presentados según un modelo de prueba de barras de color) el magenta, azul, cian, verde, amarillo y rojo totalmente saturados. En vídeo NTSC, los niveles de crominancia no deben superar estas áreas de destino⁹⁴.

Veamos un ejemplo de vectorescopio en Adobe Premier Pro® mostrando la carta SMPTE *Engineering Guideline EG 1-1990 reference bars*.

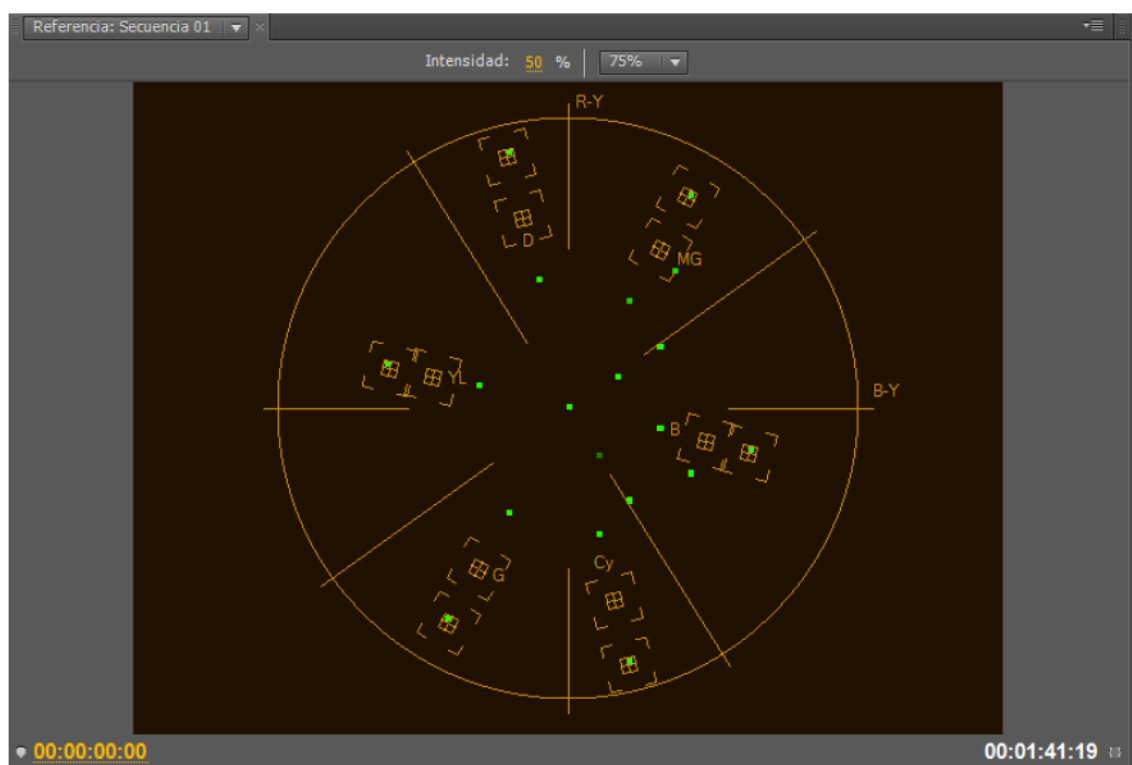


Figura 74. Vectorescopio en Adobe Premier Pro®

⁹⁴ Obtenido en Adobe. *Ayuda de Adobe Premiere Pro. Monitores de forma de onda y vectorescopio*. Disponible en: https://helpx.adobe.com/es/premiere-pro/using/using-waveform-monitors-vectorscope.html#view_a_scope

En el siguiente ejemplo, mostramos esta función en la herramienta QCTools. Podemos apreciar cómo este filtro muestra la presencia de colores saturados, debido a la presencia de la carta colorchecker®, pero sin que la saturación sea excesiva, ubicándose en unos rangos normales. Esto denota que no se han aplicado ajustes cromáticos inadecuados

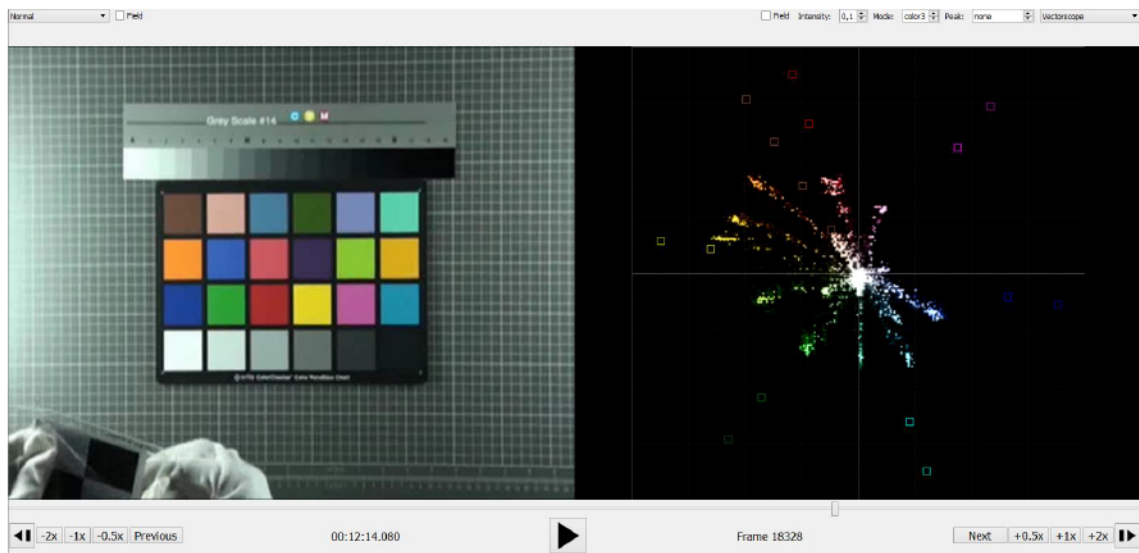


Figura 75. Vectorescopio de QCTools

7. Extracción de planos ecualizados. Este filtro extrae un plano de video especificado (Y, u o v) y le aplica ecualización del histograma. La ecualización de histograma redistribuye las intensidades de los píxeles para igualar su distribución en todo el rango de intensidad. Tal proceso exagera y hace más patente los detalles del frame analizado, lo que ayuda a detectar un exceso de compresión con pérdida en la señal de la imagen. En el siguiente ejemplo (figuras 76 y 77) mostramos la aplicación de este filtro a los planos Y, u, v de un frame. Cada ecualización aparece en este orden en una imagen aparte. Vemos como en las imágenes de u y v se hacen muy patentes los efectos de la compresión con pérdida MPEG, que genera bloques de imagen de color solido en los que se pierde parte del detalle visual. Esto demuestra el exceso de compresión con pérdida que se ha aplicado a la señal digital que merma mucho la información de crominancia.

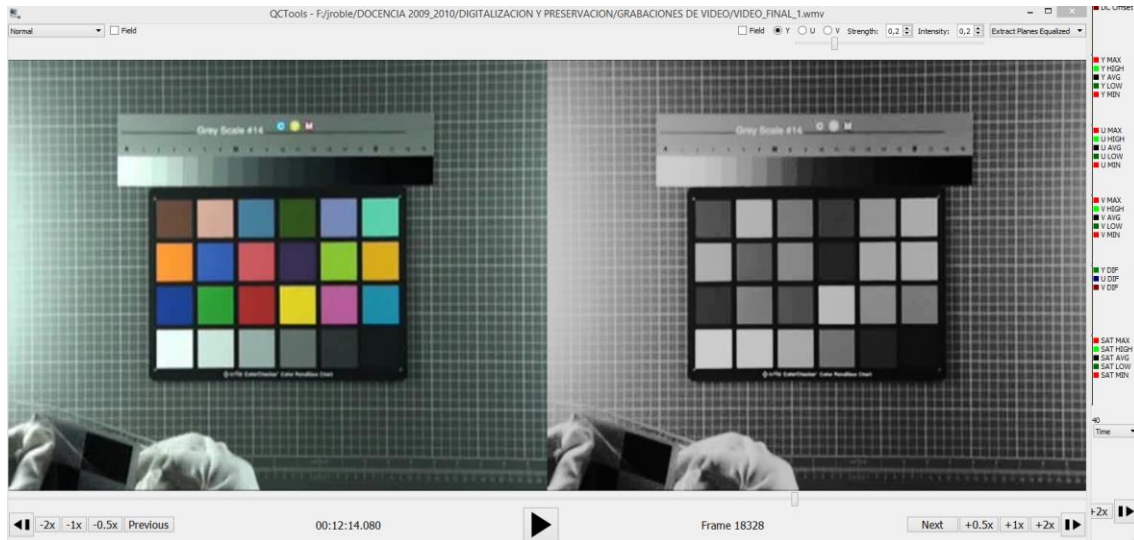


Figura 76. Plano de Y. Apenas se evidencian bloques de compresión

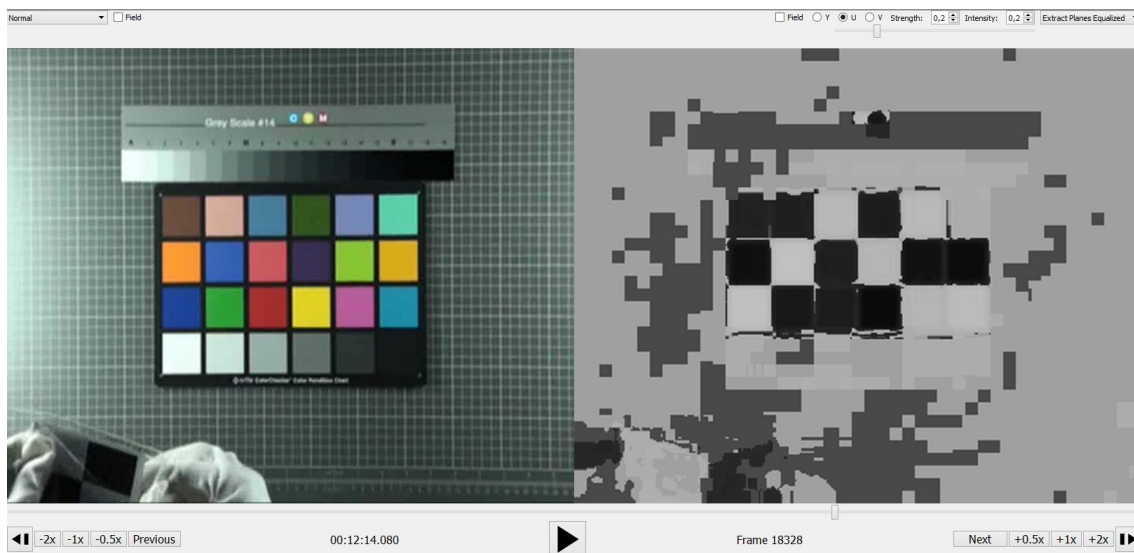


Figura 77. Plano de u. Se evidencian bloques de compresión muy fuertes

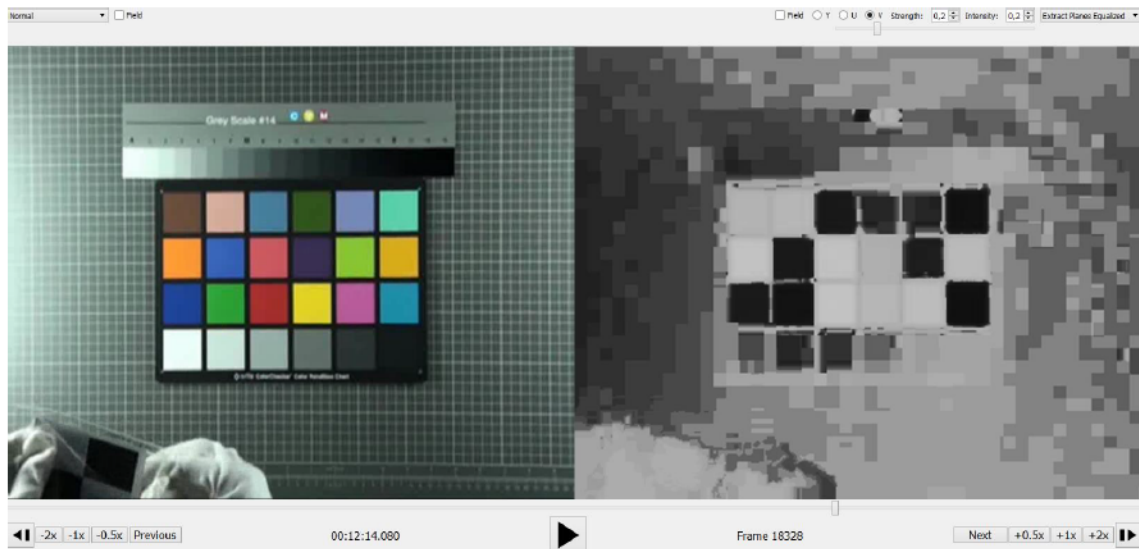


Figura 78. Plano de v. Se evidencian bloques de compresión muy fuertes

4.2.4.4 Pruebas de calidad completamente automáticas

Para el control automatizado se usará la misma aplicación, QCTools, en modo *File list*. El control se hace a partir de 12 parámetros de control, que manifiestan una serie de valores que permiten calibrar de forma general el nivel de calidad de la señal de imagen y sonido. Hemos de pensar que los controles visuales pueden no ser del todo eficaces, puesto que el cansancio del operador puede hacer pasar desapercibidos problemas de calidad audibles y visibles, por lo que se precisa un control automatizado a través de parámetros físicos computables. La herramienta QCTools permite salvar en un fichero XML⁹⁵ los valores de salida de los parámetros de control de cálculo automatizado, fotograma a fotograma. El problema de este fichero es que, al haber decenas de miles de fotogramas en un vídeo, su tamaño es muy grande, de varios millones de líneas, pudiendo llegar a tener casi el mismo tamaño el fichero XML que el propio fichero de video correspondiente. Por ello, no se exige conservar el fichero XML. Sólo se trabajará con los datos promedio de todos los fotogramas que aporta QCTools en el modo *File list*.

No se ofrecen rangos de valores admitidos para los parámetros de control siguientes, ante la dificultad de separar mediante un rango de valores concreto lo que representa un problema de calidad o, al contrario, una característica plástica propia del vídeo. Así, tan sólo aportamos una cifra indicativa o un rango de cifras a modo de umbral para cada uno de ellos. Si el valor de un parámetro sobrepasa el umbral, el operador de control de calidad se ve obligado a revisar con detenimiento la totalidad del vídeo y su señal sonora, de manera que pueda discernir la presencia o no de un problema de calidad. Insistimos en que de ningún modo pueden considerarse valores no

⁹⁵ De acuerdo a *FFmpeg's FFprobe XML Schema*. Disponible en <http://ffmpeg.org/schema/ffprobe.xsd>

concordantes con los que damos más abajo como un indicativo absoluto de problema de calidad. Los parámetros de control a utilizar serán:

1. Y Average. Promedio de los valores de Y. Es indicativo del grado de luminosidad del vídeo. El rango se fija entre 60 y 135.
2. Y Range (*average of YHIGH- YLOW*). El promedio de los valores altos y bajos de Y. Es indicativo del rango general de contraste. El rango se fija entre 65 y 200.
3. U Average y V Average. Sólo se aplica a imágenes en color. Mostrando los promedios de los valores de u y v. Son indicativos del equilibrio de color del vídeo. Valores muy altos o muy bajos reflejan la presencia de colores dominantes en todo el contenido, lo que puede ser una evidencia de problema de ajuste de color. Una dominante de color puede ser usada con finalidad creativa por el autor de vídeo analógico, por lo que en caso de duda siempre hay que acudir al cotejo con la señal analógica original. El rango se fija entre 100 y 140.
4. TOUT (*Temporal Outlier Count*). Representa el número total de pixels con valores atípicos. El umbral se fija en 0.
5. SATb (*Saturation Broadcast*). Sólo se aplica a imágenes en color. Refleja el número de frames donde la saturación máxima es de más de 88,7, lo que indicaría niveles fuera del rango de emisión legal NTSC. Este parámetro es representativo de un exceso de saturación de color en la imagen. Hemos de hacer constar su dependencia del número de frames totales del vídeo, por lo que un vídeo de larga duración tenderá a dar un valor más alto en este parámetro. Ante esta circunstancia, el analista deberá considerar el número total de frames del vídeo y cotejarlo con este valor. Su valor no representará un porcentaje mayor al 10% del total de frames⁹⁶.
6. MSEfY (*Mean Square Error per Field Y*). Refleja el número de frames con un valor de más de 1000 MSEfY. El valor admitido es 0.

Se comprobará también la coincidencia de los valores en las variables técnicas de captura y fichero con los valores de la normativa de captura, tanto para la señal de imagen como para la de audio, que se muestran en la misma ventana *File list* de QCTools.

⁹⁶ El número total de frames será la duración en segundos total del vídeo por el número de frames por segundo.

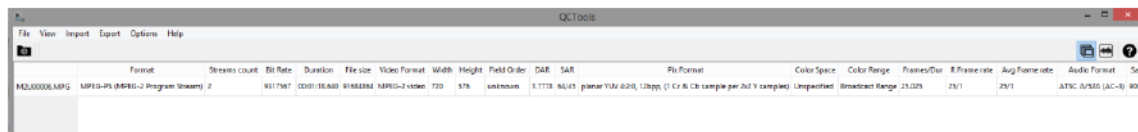


Figura 79. Ventana *File list* de QCTools

4.2.4.5 Pruebas de calidad específicas para la señal de audio presente en los vídeos

Para la evaluación de la señal de audio se deberán utilizar filtros o aplicaciones que faciliten la representación de las características esenciales de la señal de audio en el tiempo y analizar y detectar gráficamente, o mediante datos, defectos que distorsionen esa señal y que puedan haber sido originados durante la captura y procesamiento digital de los másteres o derivados. Recordamos que la misión del evaluador en esta fase es detectar problemas presentes en la señal digital, cotejando con el propio original digitalizado que éstos no estaban ya presentes en la señal analógica original; pues la finalidad de este control de calidad no es ayudar a la restauración digital de los originales, sino detectar distorsiones que hayan sido producidas durante la captura y codificación digital.

Sin ánimo de ser exhaustivos, presentamos, a continuación, algunas funciones de control que pueden ser aplicadas:

1. Espectro de audio. Muestra una visualización del espectro de audio. Se pueden utilizar múltiples herramientas solventes de uso libre. Una de ellas es QCTools, pero, dada la pobreza de su gráfico de espectro, se recomienda usar en su lugar la aplicación *Spek – Acoustic Spectrum Analyser*⁹⁷.

⁹⁷ Se puede obtener en <http://spek.cc/>

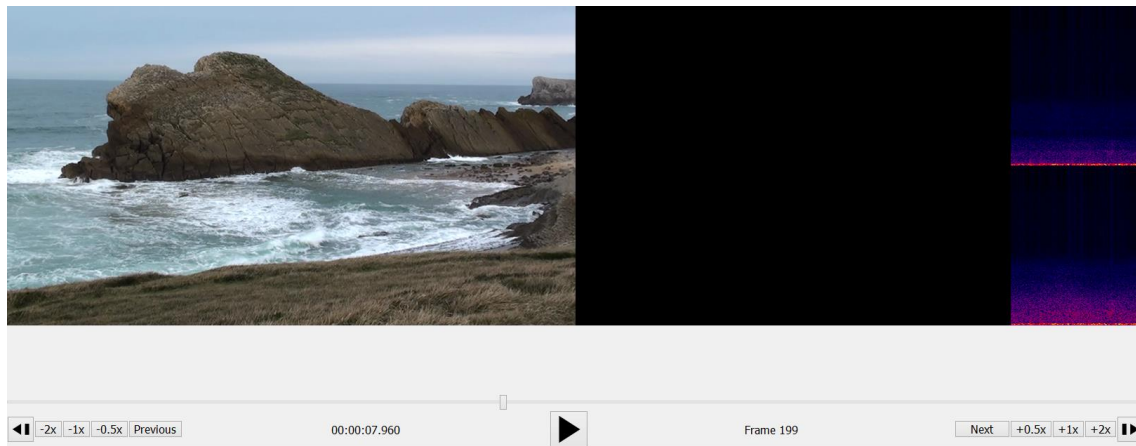


Figura 80. Ventana de espectro de audio de QCTools

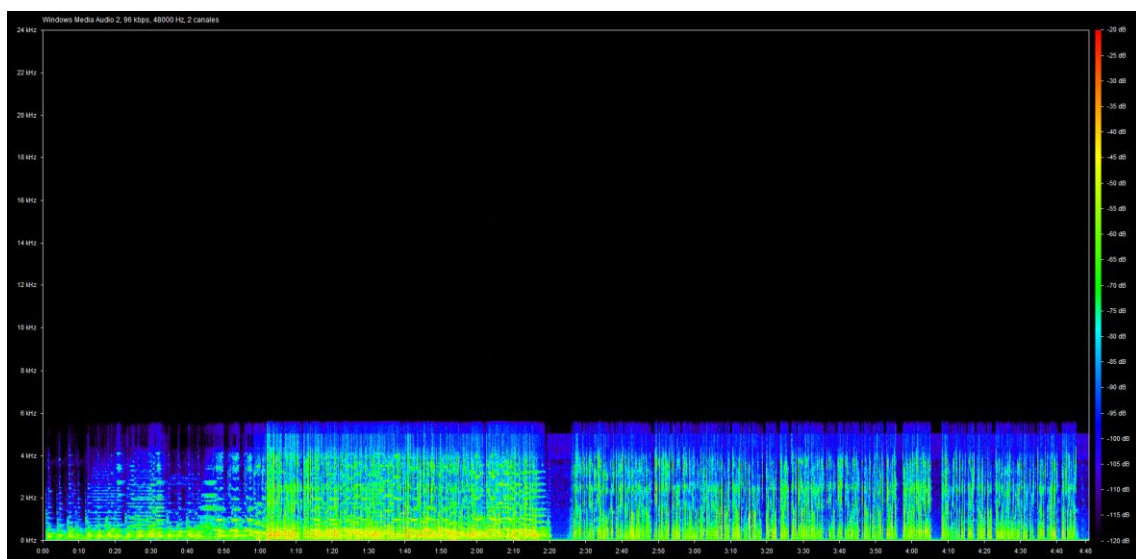


Figura 81. Ventana de la aplicación Spek, mostrando un gráfico de espectro de audio

Este tipo de gráficos nos muestra las frecuencias y los decibelios de estas a lo largo del tiempo. En el eje vertical de la izquierda figura la escala de frecuencias en KHz y en el de la derecha una escala cromática (que abarca del rojo al negro) que asigna colores a dB, desde el negro (menos decibelios) al rojo (más decibelios). El eje horizontal se dedica al tiempo. Esta visualización permite conocer las frecuencias representadas en la señal de audio y su intensidad. Una señal pobre, resultado de una alta compresión con pérdidas, mostrará menos altas frecuencias (recortadas) o altas frecuencias aisladas con poca intensidad. Estas últimas se manifiestan como líneas verticales que sobresalen del resto, tal como vemos representada en la siguiente figura (figura 82).

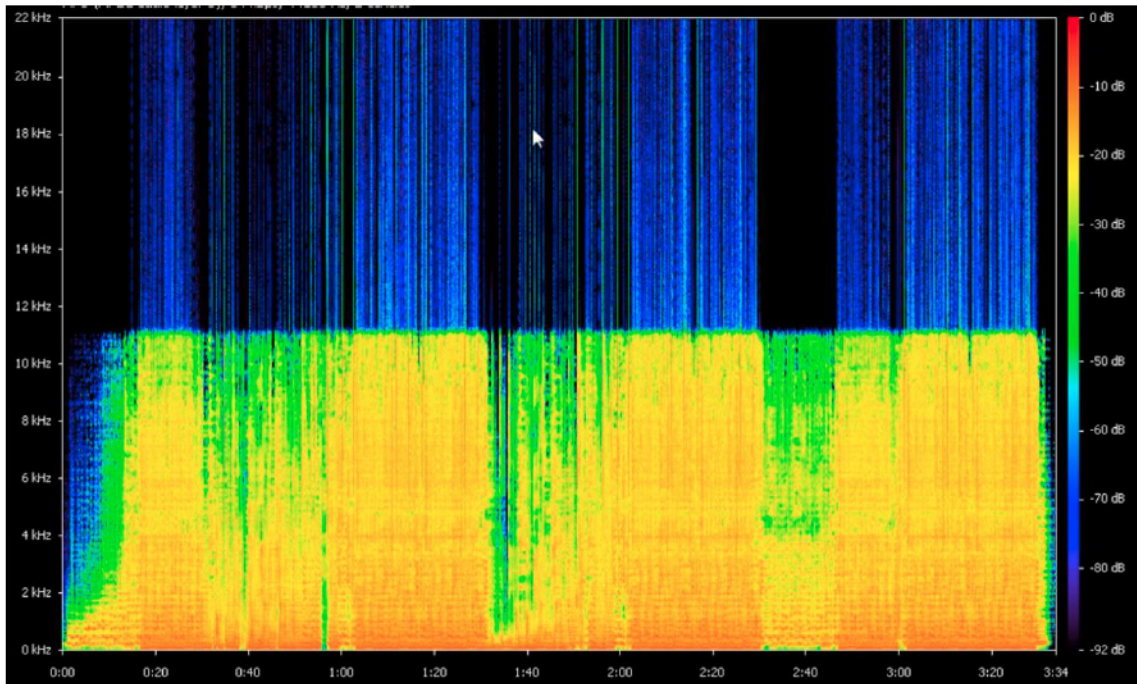


Figura 82. Ventana de la aplicación Spek, mostrando un gráfico de espectro de audio de una señal de baja calidad debido a la aplicación de una fuerte compresión con pérdida⁹⁸

2. Audio Vectorescopio. Muestra dos canales de audio enfrentados en diferentes ejes. Si el audio está fuera de fase se muestra como una línea horizontal, si es mono dual se muestra como una línea vertical, si es estéreo se muestra como una forma compleja de dos dimensiones.

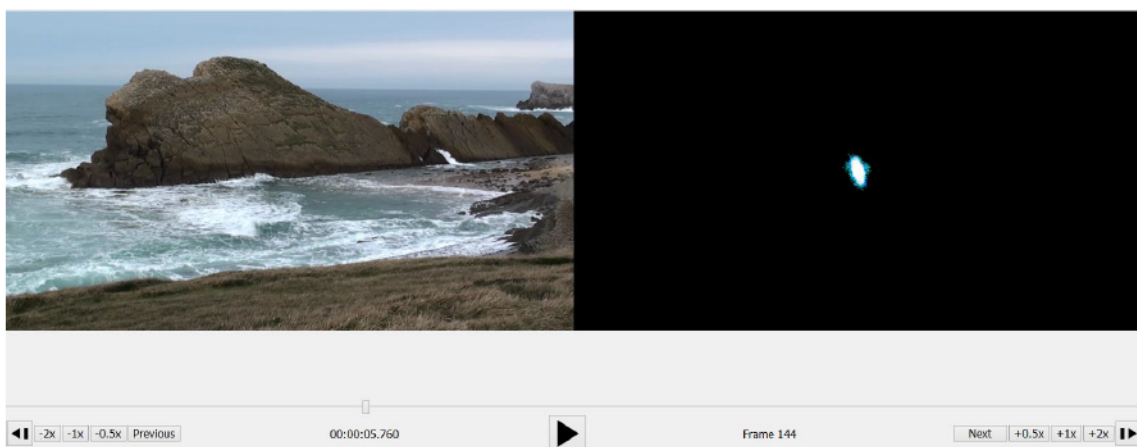


Figura 83. Ventana de vectorescopio de audio de QCTools

⁹⁸ Fuente de obtención del gráfico: *Cómo conocer la calidad real de un archivo de audio.*
<https://www.youtube.com/watch?v=xIjMrOC1gIE>

3. *Audio Phase Meter*. Muestra la salida del filtro de FFmpeg denominado aphasemeter, que convierte la señal de audio en un gráfico que muestra la fase del audio.

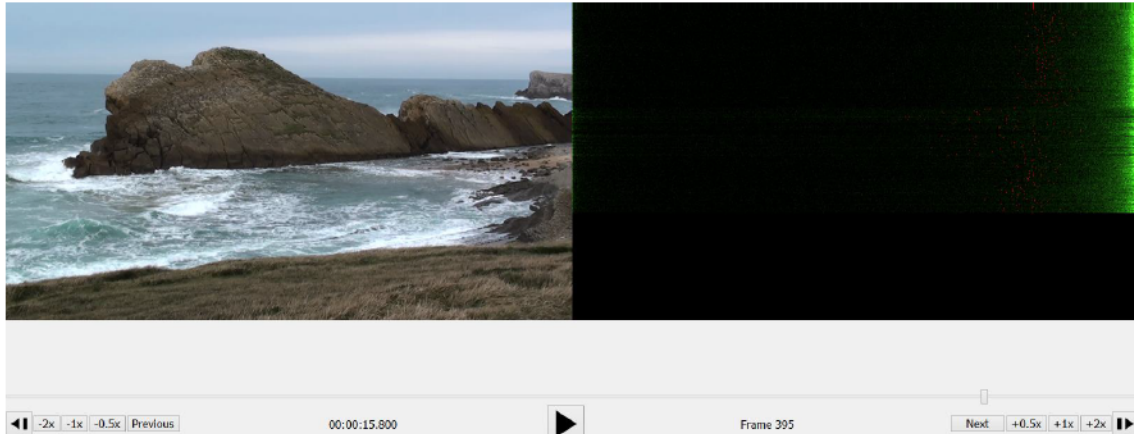


Figura 84. Ventana de *Audio Phase Meter* de QCTools

4. *Audio Frequency*. Muestra la salida del filtro de FFmpeg denominado showfreqs.



Figura 85. Ventana de *Audio Frequency* de QCTools

5. *Audio Volume*. Muestra la salida del filtro de FFmpeg denominado showvolume.

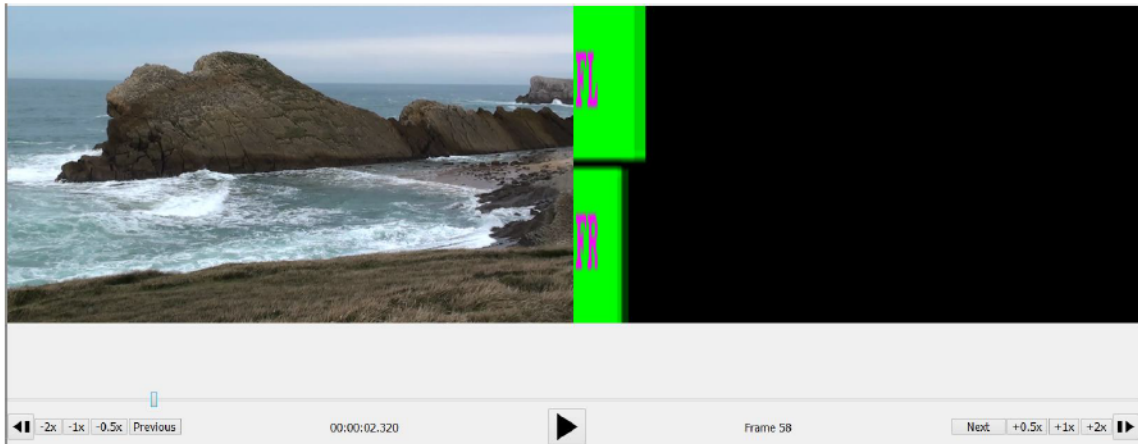


Figura 86. Ventana de volumen de audio de QCTools

Para la identificación de artefactos en la señal de audio se recomienda el uso de la *AVAA Sound Gallery*, que contiene listados con ejemplos de este tipo de problemas⁹⁹.

4.2.4.6 Pruebas de calidad sobre el patrón de barras y tono de calibración SMPTE Engineering Guideline EG 1-1990 reference bars

Este patrón se suele denominar también como mira o carta de barras de color. Es una señal de vídeo que se utiliza para la comprobación del estado de los sistemas que generan, tratan y transmiten la señal de televisión. Se trata de una carta de amplio uso, especialmente en el sistema NTSC. Ha sido ideada por la SMPTE (*Society of Motion Picture and Television Engineers*). En la siguiente imagen incluimos un ejemplo. La carta va acompañada por un tono acústica de 1 KHz, que se usa para evaluar la señal sonora.

⁹⁹ Accesible desde http://avaa.bavc.org/artifactatlas/index.php/Sound_Gallery.



Figura 87. Carta de barras y tono de calibración SMPTE Engineering Guideline EG 1-1990 reference bars

Esta prueba se puede aplicar a la carta que puede contener la propia cinta analógica y que es capturada como parte de su contenido, y a la carta que se incluye en la señal digital con la finalidad de ayuda al control de calidad. Las características y finalidad de esta segunda carta se explican con más detalle en el epígrafe de más abajo titulado *Captura de elementos de control de calidad adicionales*. En el primer caso, esta prueba sólo tiene sentido cuando la calidad de la señal analógica de la carta es muy alta, pues así no se manifestarán problemas de tipo tonal, cromático o de artefactos durante su reproducción. Si esta señal muestra algunos de estos problemas, pasarán a la señal digital capturada junto a los propios del proceso de digitalización, por lo que la diferenciación de unos y otros será muy compleja para el operador, y los parámetros a medir darán siempre valores fuera del rango admitido. Por ello, es preferible que esta prueba sólo se aplique a la carta que se genera durante el proceso de captura.

Las cartas de barras de color y tono se deberán analizar de forma aislada, sobre un fichero que contenga exclusivamente el segmento temporal que ocupa la carta, que habrá de tener exactamente la misma codificación de vídeo y audio que el fichero origen.

Las pruebas a realizar estarán dirigidas exclusivamente hacia la comprobación de que la digitalización no ha supuesto una alteración de las características originales de la señal analógica en lo que respecta a crominancia y luminancia.

Las pruebas con el interfaz Graphs layout arrojarán los siguientes rangos de valores:

- Ymax 235
 - Yhigh 180. Admitiéndose una variación de ± 5
 - Yavr 95
 - Ylow 16. Admitiéndose una variación de ± 5
 - Ymin 7
-
- UMIN 44. Admitiéndose una variación de ± 5
 - ULOW 72. Admitiéndose una variación de ± 5
 - UAVG 133. Admitiéndose una variación de ± 5
 - UHIGH 212. Admitiéndose una variación de ± 5
 - UMAX 212. Admitiéndose una variación de ± 5
-
- VMIN 44. Admitiéndose una variación de ± 5
 - VLOW 44. Admitiéndose una variación de ± 5
 - VAVG 127. Admitiéndose una variación de ± 5
 - VHIGH 198. Admitiéndose una variación de ± 5
 - VMAX 212. Admitiéndose una variación de ± 5

Se usará también en la ventana Graphs layout la gráfica de Diferencia de valores Yuv, que deberá mostrarse completamente plana para toda la secuencia (todos los valores de diferencia iguales a 0), tal como vemos en la siguiente imagen.

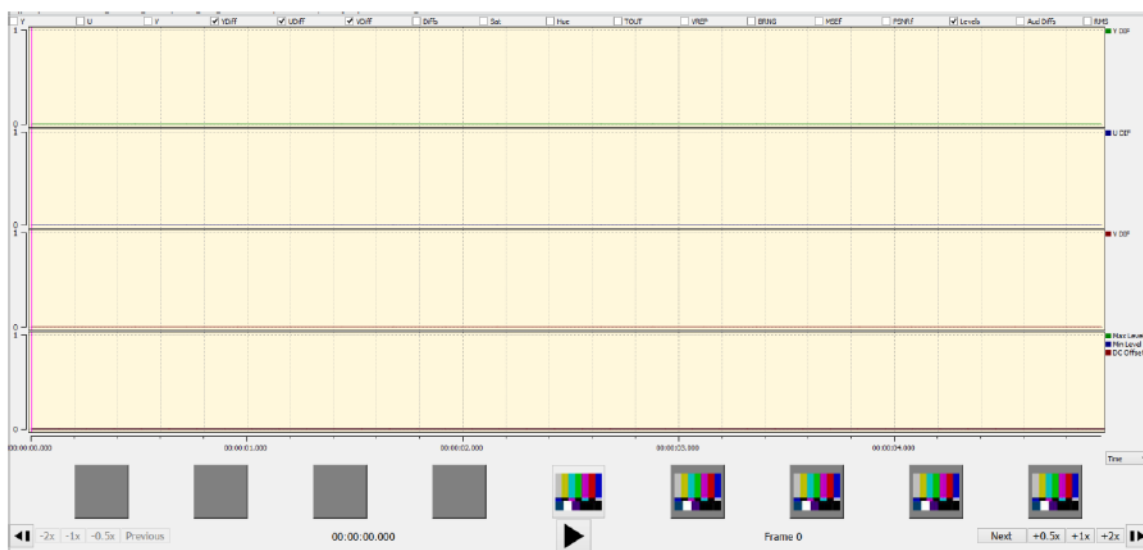


Figura 88. Gráfica QCTools de Diferencia de valores Yuv sobre la carta SMPTE

En la ventana de filtros playback se hará la prueba de vectorescopio, que deberá mostrar un resultado similar al que muestra la siguiente imagen para todos los frames.

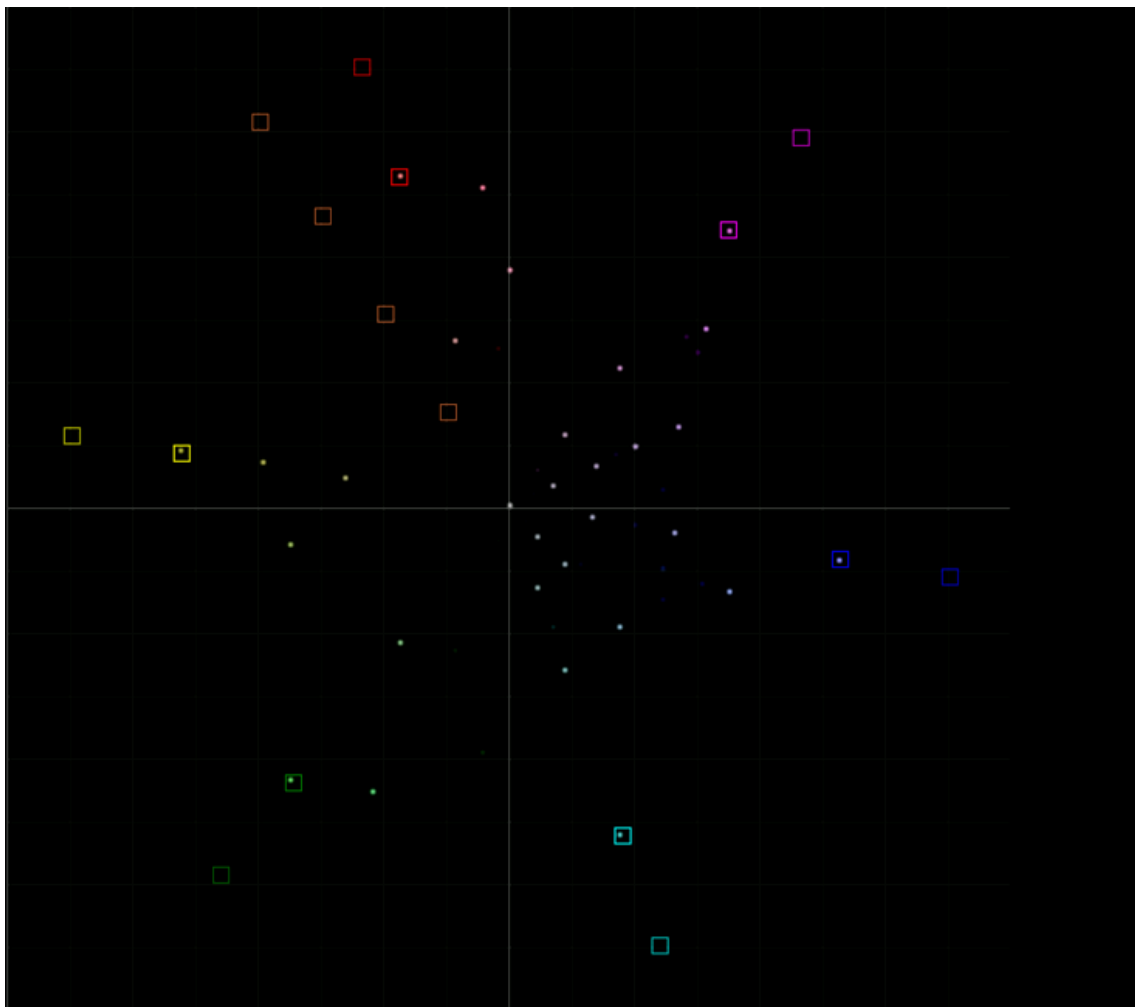
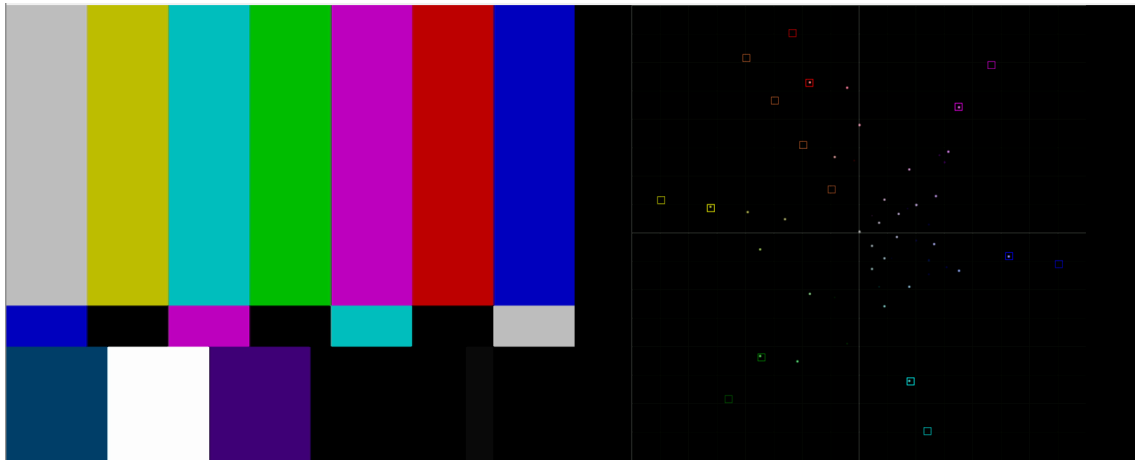


Figura 89. Gráfica QCTools de vectorescopio con la carta SMPTE

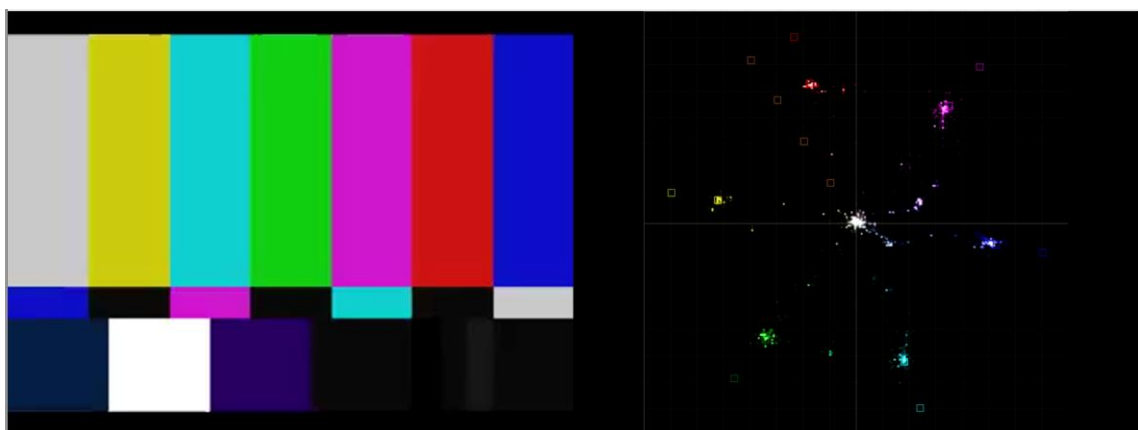
El monitor de forma de onda mostrará una gráfica similar a la de la siguiente imagen para todos los frames.



Figura 90. Gráfica QCTools de El monitor de forma de onda con la carta SMPTE

Cuando se ejecute el vídeo de la carta en esta ventana ni el vectorescopio ni el monitor de forma de onda mostrarán ningún cambio en sus gráficas, puesto que cualquier cambio manifiesta la distorsión de la señal de la carta en el tiempo, debido a defectos introducidos durante la fase de captura o a un exceso de compresión.

Veamos un ejemplo de una gráfica de vectorescopio que manifiesta cambios temporales de color por un exceso de compresión con pérdida.



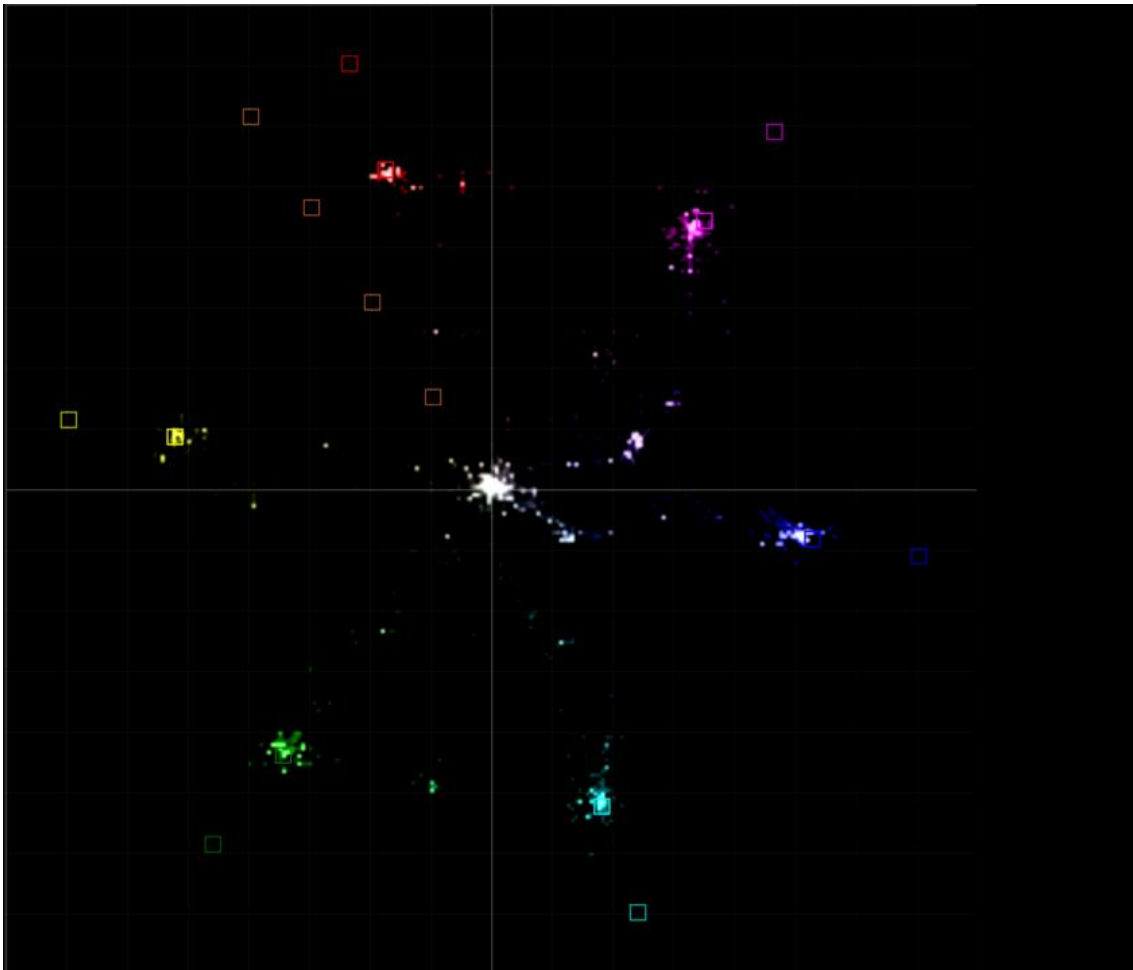


Figura 91. Gráfica QCTools de vectorescopio con la carta SMPTE en un vídeo con gran compresión con pérdida

Para facilitar el control, se puede obtener automáticamente desde la aplicación QCTools una exportación de los datos a formato CSV.

La prueba de espectro de audio dará una gráfica similar a la de la imagen siguiente, recordemos que la señal de audio es 1 kHz.

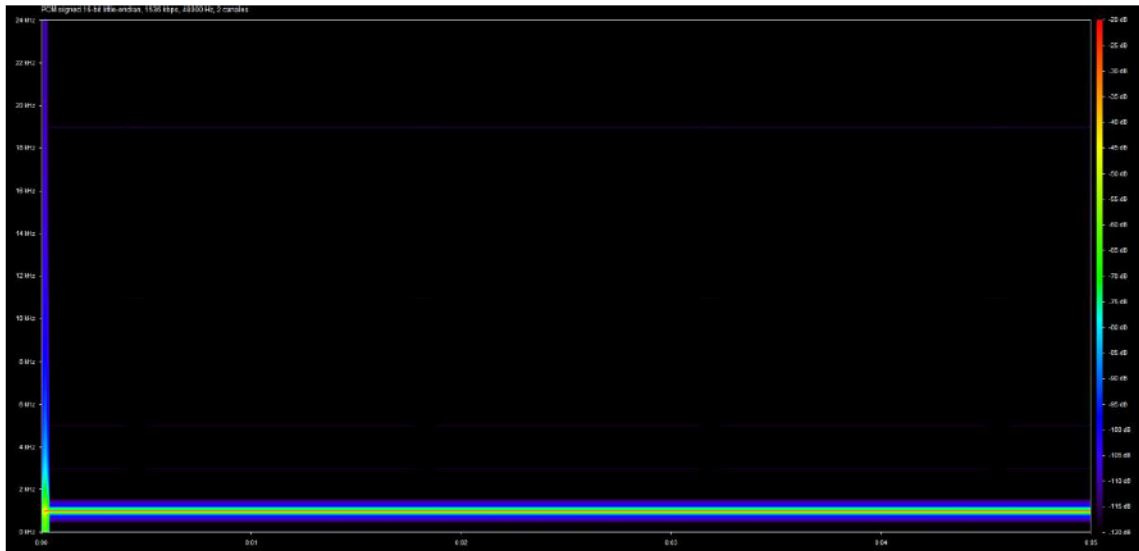


Figura 92. Gráfica QCTools de espectro de audio con la carta SMPTE

En la siguiente imagen vemos una gráfica de espectro de audio de una carta que muestra problemas en la señal de audio por exceso de compresión y ruido.

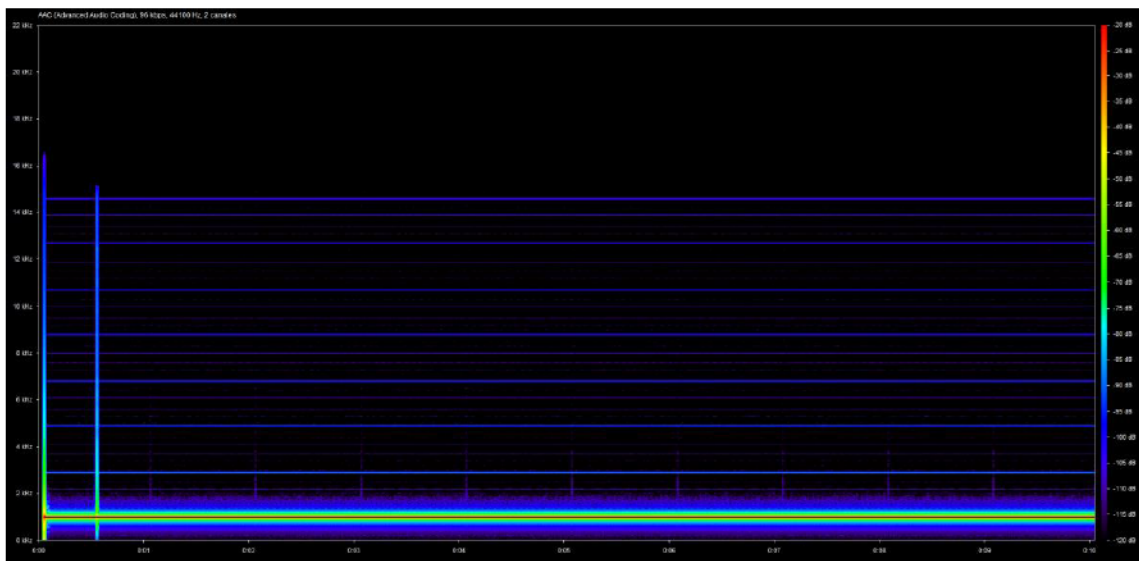


Figura 93. Gráfica QCTools de espectro de audio con la carta SMPTE con exceso de compresión y ruido

4.2.5 Ajustes sobre la imagen y sonido digital no permitidos para la imagen máster

No se permitirá ninguno de estos ajustes, ni durante la captura a través del software de captura, ni posteriores a la captura, a través de un editor de imagen digital:

- Compensación de dropouts. La compensación trata de reponer la señal dañada incluyendo información similar de otras líneas del fotograma cercanas a la dañada.
- Reducción de ruido.
- Desentrelazado. No se admitirá para las versiones máster, aunque sí para las versiones derivadas. El archivo máster debe tener el mismo entrelazado que la señal analógica del original.

4.2.6 Metadatos de captura

Los ficheros digitales han de contener metadatos básicos de digitalización incrustados. Se seguirá para ello el estándar XMP. Se podrán incrustar los metadatos por lotes desde aplicaciones de gestión de medios como Adobe Bridge, ganándose en efectividad si usan plantillas con los valores comunes a un grupo de imágenes.

Los datos a incluir en los metadatos serán:

- Nombre de persona que ha digitalizado.
- Nombre de empresa digitalizadora, en su caso.
- Fecha de captura de la imagen digital.
- Datos de copyright de la imagen digital.
- lugar de captura de la imagen digital.

4.2.7 Informe de procesamiento de la señal digital aplicado a las capturas

Los documentos digitales de los informes, como hemos indicado en el epígrafe dedicado al sistema de organización de los ficheros, se almacenarán en la carpeta “control”, dentro de la subcarpeta “control_loteN”, que les corresponda. Su formato será PDF y su nombre deberá finalizar con la cadena “_proces”.

4.3 Captura de elementos de control de calidad adicionales

Más arriba expresamos y motivamos la utilidad de que por cada captura de cinta de vídeo se incluya la señal de un patrón de barras y tonos SMPTE originado analógicamente y cuya captura ha seguido exactamente todos los

ajustes y flujo de trabajo de captura que la señal analógica allí presente. Reconocemos que esta práctica hace aumentar, aunque mínimamente, el tamaño de los ficheros y el tiempo del trabajo de captura, las ventajas que aporta de cara a la continuidad digital de los fondos digitales compensan sobradamente estos inconvenientes.

La inclusión del patrón SMPTE seguirá estos requerimientos:

- Ubicarse antes que el contenido.
- Tener 3 segundos previos de señal de imagen negra con el mínimo valor de intensidad de luz, y otros 5 de la misma señal posteriores.
- Una duración de 30 segundos.

Cuando la propia cinta presente un patrón de barras de color y tono, se respetará, teniendo el tratamiento de contenido de la cinta, por lo que irá siempre tras el patrón de control introducido durante la captura.

4.4 Variables técnicas de captura y fichero para vídeo

Es común que las cintas de vídeo de cierta antigüedad presenten problemas de conservación si sus condiciones de almacenamiento han sido inapropiadas o si no han sido rebobinadas de manera regular. Un exceso de reproducciones también redundaría en la aparición de problemas de calidad en la señal de audio e imagen. Los problemas de conservación, incluso cuando se procuran condiciones de almacenamiento adecuadas, se explican por el propio envejecimiento de los soportes tipo cinta, que no fueron originariamente diseñados para una permanencia alta. Ante la posible presencia de problemas de conservación en las cintas, se recomiendan precauciones especiales durante las reproducciones de inspección previas y la que es necesaria para el proceso de captura digital y que se realice ésta por técnicos con un alto grado de experticidad y experiencia en el trabajo con estos materiales.

Los valores en las variables técnicas de captura recomendados son los que figuran en las tablas III y IV, para las versiones másteres y derivadas respectivamente. Estos valores han sido seleccionados considerando los formatos de cinta presentes en el Archivo de Espacio P, que hemos detallado en la introducción. Hemos de destacar que las resoluciones de los formatos de vídeo analógicos son bajas, propias de los estándares de vídeo y televisión de la época, por lo que se recomienda su captura en SD en estándar 25p (PAL progresivo)¹⁰⁰. Para los formatos de peor calidad técnica y que pueden

¹⁰⁰ No se recomienda el supermuestreo (aplicar una resolución espacial de imagen superior a la resolución de la señal analógica) con los vídeos analógicos, porque el uso de altas resoluciones de cuadro cuando la señal analógica tiene resoluciones escasas puede llegar a introducir artefactos haciendo que la calidad de la imagen

presentar materiales resultado de grabación y recodificación desde las cintas máster U-Matic recomendamos un códec profesional de tipo intermedio, pues, a pesar de incluir compresión con pérdida, se adaptan bien a los posibles procesos posteriores de edición digital y subtitulado, y representan un equilibrio entre calidad de imagen y sonido y optimización de recursos de almacenamiento, procesado y ancho de banda. Recomendamos ProRes SD 422 en contenedor Quicktime (MOV). Para las cintas U-Matic recomendamos un códec que no implique compresión alguna, o, en su defecto, compresión con pérdida, tal como v210 YUV o YUV sin compresión, sobre el contenedor AVI o Quicktime. Todas estas opciones derivan en formatos de fichero altamente legibles en entornos Windows, Mac y Linux. Tener los másteres a 10 bits de profundidad de bit aumenta el tamaño de fichero, pero facilita las posibles operaciones de edición digital que pueden sufrir las imágenes en posibles procesos posteriores de edición.

Formato cinta	Contenedor	Códec	Subm. Color	Bits	Resolución
VHS	MOV	ProRes SD 422	4:2:2	10 bits	SD
U-MATIC	AVI	v210 YUV	4:2:2	10 bits	SD
BETAMAX	MOV	ProRes SD 422	4:2:2	10 bits	SD
BETACAM	MOV	ProRes SD 422	4:2:2	10 bits	SD
Hi8	MOV	ProRes SD 422	4:2:2	10 bits	SD
VHS C	MOV	ProRes SD 422	4:2:2	10 bits	SD
SVHS	MOV	ProRes SD 422	4:2:2	10 bits	SD

Tabla III. Valores de variables técnicas para la captura de materiales videográficos en versión máster

incluso sea inferior a la del formato de cinta analógica, incrementando además innecesariamente el tamaño de los ficheros digitales. Por ello no se recomienda subir de la resolución SD en estándar PAL (720x576 píxeles).

Formato de cinta	Formato contenedor	Códec	Resolución
VHS	MP4	H.264	SD
U-MATIC	MP4	H.264	SD
BETAMAX	MP4	H.264	SD
BETACAM	MP4	H.264	SD
Hi8	MP4	H.264	SD
VHS C	MP4	H.264	SD
SVHS	MP4	H.264	SD

Tabla IV. Valores de variables técnicas para la captura de materiales videográficos en versión derivada

Señalamos a continuación una serie de variables técnicas más específicas de la configuración de captura de la señal de imagen y sonora cuya decisión relegamos al criterio de los técnicos de captura, considerando que esta será realizada por personal altamente cualificado en esta tarea:

- Tipo de bitrate.
- Ratio de aspecto de pixel.
- Variables de espacio de color.
 - Estándar de espacio de color RGB. Se recomienda que en el máster se siga el estándar empleado en la señal analógica, o, si se considerase mejor la codificación digital en otro estándar (tal como BT.601 o BT.709), se deja a criterio del técnico digitalizador.
 - Curva TRC o valor gamma.
 - Rango de salida.
 - Formato YUV/Ycc.

Para las siguientes variables se respetarán las características de la señal original: entrelazado/progresivo y orden de campos, espacio de color estándar RGB y YUV/Ycc, tasa de frames por segundo, razón de aspecto del frame y estándar de TV (PAL, NTCS).

Todas las pistas de audio deben ser digitalizadas en su totalidad. Si no hay audio en la cinta, los niveles de audio deben ajustarse de acuerdo con el contenido de la cinta de tal manera que la señal de audio permanezca en cero

unidades de volumen (VU) en un vúmetro (indicador de volumen) calibrado 0 -20 dBFS en un medidor digital calibrado.

Para la señal de audio se recomiendan los valores técnicos del estándar CD Audio: como método de codificación PCM lineal, 44,1 KHz de frecuencia de muestre, 16 bits de profundidad de bit y estéreo.

Hemos de considerar que un segundo con la calidad máster sin comprimir a SD, con audio de acuerdo al estándar CD Audio, viene a ser en torno a 26,5 MB de tamaño de fichero, por lo que 1 minuto equivale a 1,5 GB y una hora se sitúa en torno a 90 GB.

Para los ficheros derivados recomendamos los siguientes valores de codificación con H.264 sobre contenedor MP4:

- Vídeo: PAL progresivo, 720x576, 25fps, VBR 1 pase, 8 bits, 12 Mbps.
- Audio: AAC, 16 bits, 48 KHz, Estéreo, 192Kbps.

Si las cintas originales contienen subtítulos, éstos deben ser extraídos en formato texto y almacenados en un fichero de subtítulos con un formato estandarizado de tipo básico, tal como .srt , .sbv o .smi. Este fichero debe almacenarse en la carpeta destinada a los subtítulos, tal y como se refiere más abajo en la normativa de organización que presentamos en este mismo trabajo. Su nombre debe coincidir con el del fichero máster a que corresponde.

Insistimos en que se deberá capturar digitalmente cualquier contenido que presenten las cintas en su cabecera o en su cola y que no formen parte de la grabación artísticas, como patrones de barras de color y tono, títulos, imagen de pizarra o créditos.

4.4 Variables técnicas de captura y fichero para película de Cine

El fondo del Archivo de Espacio P consta de películas super 8 mm sin sonorizar. Estamos ante formato de película no profesional y rollos de pocos minutos de duración. Los valores recomendados, dadas las características técnicas de las películas, son los reflejados en las tablas V y VI.

Formato película	Contenedor	Códec	Subm. color	Bits	Resolución
Super 8 mm sin sonarizar	AVI / Quicktime	v210 YUV	4:2:2	10 bits	HD (1080p) ¹⁰¹

Tabla V. Valores para la captura de materiales cinematográficos en versión máster

Formato película	Contenedor	Códec	Resolución
Super 8 mm sin sonarizar	MP4	H.264	HD (1080p)

Tabla VI. Valores para la captura de materiales cinematográficos en versión derivada

HD (1080p) representa 5 veces más volumen de datos que SD en estándar 25p, por lo que 1 minuto puede llegar a traducirse en cerca de 7,5 GB.

4.5 Variables técnicas de captura y fichero para contenidos sonoros

4.5.1 Discos de vinilo

Se recomienda la separación de pistas, de manera que el contenido de cada pista se represente en un fichero audio independiente.

Para su captura recomendamos los valores que aparecen en la tabla VII. Para la elaboración de estos se han tomado como referencia las recomendaciones técnicas de la IASA (*International Association of sound and Audiovisual Archives*), en su última revisión.

¹⁰¹ Sus características técnicas son 25 imágenes progresivas por cada segundo, con una resolución de cuadro de 1920x1080 píxeles.

Formato	Contenedor	Códec	Frecuencia muestreo	Profundidad de bit
Disco vinilo	WAV	Sin compresión	96 KHz	24 bits

Tabla VII. Valores para la captura de discos de vinilo en versión máster

Para las versiones derivadas recomendamos el formato MP3 con un nivel de compresión y unos valores de muestreo y profundidad de bit que garantice alta calidad de sonido, lo que se lograría aplicando los valores de muestreo del estándar CD Audio: 44100 Hz y 16 bits.

4.5.2 CD Audio

Se propone el ripeo¹⁰² de pistas para traspasar el formato CD Audio a ficheros sin compresión y con la misma calidad técnica que este estándar. Así se evita la pérdida de calidad que supondría la doble conversión que implicaría la digitalización desde un dispositivo reproductor de audio (de digital a analógico para la reproducción y de analógico a digital para la redigitalización). Se propone como valores de captura para las versiones máster los del estándar CD Audio¹⁰³, y como formato contenedor WAV. También proponemos la captura de un fichero por pista. Para los derivados es recomendable usar formato contenedor y códec MP3, con compresión equilibrada para no generar excesiva pérdida de calidad y manteniendo los valores del máster en profundidad de bit, y frecuencia de muestreo.

Se propone la utilización de programas específicos para el ripeo que contienen funciones de corrección de errores de lectura. Durante el proceso de captura de cada CD Audio se deberá evaluar la incidencia de errores de lectura. Ante errores frecuentes, se planteará como opción mejor, la digitalización mediante digitalización a través de un reproductor de CD Audio conectado a una tarjeta de sonido.

4.5.3 Audio Casetes

Para este soporte proponemos los parámetros que figuran en la tabla VIII.

¹⁰² Procedimiento consistente en copiar los datos del audio directamente a un sistema de almacenamiento de un ordenador, sin necesidad de proceder a la digitalización, ya que los datos del soporte CD Audio están ya en formato digital.

¹⁰³ Recordamos que su frecuencia de muestreo es de 44100 Hz, 16 bits y codificación PCM (sin compresión).

Formato	Contenedor	Códec	Frecuencia muestreo	Profundidad de bit
Audio Casete	WAV	Sin compresión	96 KHz	24 bits

Tabla VIII. Valores para la captura de audio casetes en versión máster

Para las versiones derivadas recomendamos MP3 con un nivel de compresión y unos valores de muestreo y profundidad de bit que garantice alta calidad de sonido, tales como los del estándar CD Audio.

4.6 Sistema de organización de los ficheros en los discos de almacenamiento

En los discos donde se vayan almacenando los ficheros resultados de la digitalización se seguirán estas pautas:

- La estructura de carpetas debe ser idéntica en todos los fondos a digitalizar no admitiéndose variaciones sin justificar.
- Cada fondo tendrá una carpeta padre/raíz que contendrá todos los ficheros digitales de sus obras. Cuando los ficheros de un mismo fondo no quepan en un único disco, en todos los discos donde se almacenen deberá haber una carpeta raíz para el fondo. No se podrán mezclar los ficheros de diferentes fondos en una misma carpeta raíz de fondo. El nombre de la carpeta del fondo será un identificador nemotécnico de éste de pequeña extensión, tal como “espacio-p” o “pedrogarhel”.
- Cada colección dentro del fondo tendrá una carpeta padre cuyo nombre será un identificador nemotécnico de la colección, tal como “cine”, “video”, “discos_vinilo”.
- Dentro de cada colección se presentará una carpeta padre por cada documento. Dentro de esa carpeta padre se seguirá la siguiente estructura:
 - Una carpeta para la versión máster. Contendrá el fichero de control que ha sido descrito más arriba en el apartado destinado al sistema de nomenclatura de las imágenes raster.
 - Una carpeta para la versión derivada. Contendrá el fichero de control que ha sido descrito más arriba en el apartado destinado al sistema de nomenclatura de las imágenes raster.

- Una carpeta para ficheros de metadatos, en su caso.
 - Una carpeta para contener el fichero o ficheros de subtítulos, en su caso.
- Si existen varios tipos de ficheros derivados, habrá de crearse carpetas específicas con nombre y ubicación normalizados, para facilitarse así el procesado automático posterior.
- En ningún caso, se incluirán:
 - Carpetas vacías o carpetas que contengan otras carpetas vacías.
 - Carpetas comprimidas.
 - Ficheros del sistema operativo.
 - Ficheros o directorios ocultos.
 - Ficheros de miniaturas creadas automáticamente por el sistema operativo o por aplicaciones tipo visor.

Con respecto a las capturas de ficheros de control independientes se seguirán estos requisitos:

- Los ficheros de control independientes, si los hay, se ubicarán en una carpeta hija de la carpeta padre de colección denominada “control”.
- Dentro de esta carpeta habrá tantas subcarpetas como capturas de control se hayan hecho para esa colección, cuyo nombre será “control_loteN”, siendo sustituida la “N” por el número de lote. Un lote contiene las capturas de control de todos los ficheros que se han capturado con condiciones idénticas de captura y almacenamiento.
- Dentro de la carpeta correspondiente a cada lote se almacenará un fichero de texto con extensión TXT y codificación UTF-8 que contendrá el listado de ficheros máster de ese lote identificados por su nombre de archivo con extensión de archivo incluida.
- Se almacenará también en esta carpeta, cuando sea de aplicación, un fichero en formato PDF, que contendrá un Informe de procesamiento de la señal digital, que tendrá asimismo el nombre del fichero máster finalizado con la cadena “_proces”. Su extensión será la correspondiente al formato PDF. El contenido de este informe se describe en el apartado dedicado a Informe de procesamiento de la señal digital aplicado a las capturas.

Un aspecto a determinar es cómo se establecen las relaciones jerárquicas a nivel de almacenamiento de ficheros en disco en los casos en que puede haber relaciones de origen entre diferentes ficheros de vídeo o audio, como, por ejemplo, la que se establece entre los vídeos o audios en bruto con respecto a los vídeos de obra editados finales que los incluyen. Hemos de

pensar que los vídeos o audios en bruto, o incluso editados, pueden emplearse para varias obras videográficas o sonoras, por lo que a priori no parece conveniente a nivel de almacenamiento que se establezca una relación jerárquica por medio de subcarpetas entre ellos. Esta práctica complicaría en exceso el sistema de organización de los ficheros en los discos de almacenamiento y de preservación digital, e introduciría un elemento organizativo poco sistemático, pues del mismo modo puede haber ficheros en otros medios (fotografías, dibujos, textos...) que contengan contenidos que han sido también introducidos en obras sonoras, videográficas o cinematográficas mediante su registro o filmación por parte de los artistas. Pensamos que es mejor relegar a los metadatos catalográficos la consignación de estas relaciones entre los ficheros, de manera que puedan ser averiguadas mediante consultas al sistema de base de datos que registra las catalogaciones de los contenidos. Por ello, recomendamos que, tanto los ficheros correspondientes a los materiales en bruto, como a los editados, sean tratados a nivel de digitalización, almacenamiento físico y preservación digital como contenidos independientes.

Bibliografía

ADOBE SYSTEMS INCORPORATED (2005). *Adobe® RGB (1998) Color Image Encoding* [en línea]. *Version 2005-05. May 2005*. San Jose, CA: Adobe [consulta: 3 noviembre 2016]. Disponible en: <https://www.adobe.com/digitalimag/pdfs/AdobeRGB1998.pdf>.

ADOBE SYSTEMS INCORPORATED. *Ayuda de Adobe Premiere Pro. Monitores de forma de onda y vectorescopio* [en línea]. San Jose, CA: Adobe [consulta: 5 noviembre 2016]. Disponible en: https://helpx.adobe.com/es/premiere-pro/using/using-waveform-monitors-vectorscope.html#view_a_scope.

AENOR. *Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario. (ISO 9000:2000)*. UNE-EN ISO 9000:2000. Madrid: Aenor.

ARTIGAS, J. M., CAPILLA, P. y PUJOL, J. (eds.) (2002). *Tecnología del color*. Universidad de Valencia.

BURNS, P. D. (2015). *Image Quality Concepts. Handbook of Digital Imaging*, vol.1 Image Capture and Storage. John Wiley and Sons.

BURNS, Peter D. y WILLIAMS, D. (2007). *Ten Tips for Maintaining Digital Image Quality* [en línea]. IS&T: The Society for Imaging Science and Technology [consulta: 3 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.imagescienceassociates.com/mm5/pubs/50Arch07BurnsWilliams.pdf>.

CASTRO MORALES, F.; OHLENSCHLÄGER, K.; QUESADA, A. y QUINTERO, Y. (2016). *Espacio P a través de Ello Dentro/Fuera*. Serie: Espacio P en contexto, 1. Granada: Ars Activus Ediciones, 2016.

COLLTON, E. (2016) *Re-constructions: Preserving the Video Installations of Buky Schwartz*. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Arts Moving Image Archiving and Preservation Program Department of Cinema Studies [en línea]. New York University, May 2016 [consulta: 3 noviembre 2016]. Disponible en: http://www.nyu.edu/tisch/preservation/program/student_work/2016spring/16s_3490_Colloton_Thesis.pdf.

DORMOLEN, H. (2012). *Metamorfoze Preservation Imaging Guidelines. Image Quality* [en línea]. *Version 1.0, January 2012*. The Hague, NL: National Library of the Netherlands (KB) [consulta: 3 noviembre 2016]. Disponible en:

https://www.metamorfoze.nl/sites/metamorfoze.nl/files/publicatie_documenten/Metamorfoze_Preservation_Imaging_Guidelines_1.0.pdf.

ENGELDRUM, P. G. (1995). A framework for image quality models. *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 39 (4), 312-318.

ENGELDRUM, P. G. (1999). Image Quality Modeling: Where Are We?. *IS&T's 1999 PICS Conference*.

ENGELDRUM, P. G. (2004). A Theory of Image Quality: The Image Quality Circle. *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 48 (5), 446-456.

FADGI [Federal Agencies Digitization Initiative] - Still Image Working Group (2010). Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials: Creation of Raster Image Master Files For the Following Originals - Manuscripts, Books, Graphic Illustrations, Artwork, Maps, Plans, Photographs, Aerial Photographs, and Objects and Artifacts [en línea]. August 2010. NARA [U.S. National Archives and Records Administration] [consulta: 3 noviembre 2016]. Disponible en: http://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI_Still_Image-Tech_Guidelines_2010-08-24.pdf.

FADGI [Federal Agencies Digitization Initiative]- Still Image Working Group. (2016). *Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials: Creation of Raster Image Master Files* [en línea]. September 2016. NARA [U.S. National Archives and Records Administration] [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: http://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI_Still_Image_Tech_Guidelines_2016.pdf.

FREY, F. (2002). Creació de Col·leccions Digitals. *Imatge i recerca: ponències experiències i comunicacions. Jornades Antoni Varès*. Girona: Ajuntament de Girona, Centre de Recerca i Difusió de la Imatge.

FREY, F. y BERNIS, R. (2005). Direct Digital Capture of Cultural Heritage – Benchmarking American Museum Practices and Defining Future Needs. Final Report [en línea]. [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: <http://msc.mellon.org/research-reports/Direct%20Digital%20Capture%20of%20Cultural%20Heritage.pdf/view>.

FREY, F. y REILLY, J. (2006). Digital Imaging for Photographic Collections Foundations for Technical Standards. Second Edition. Rochester: RIT.

GIORGIANI, E. J.; MADDEN, T. E y SPAULDING, K. E. (2003). *Color management for digital imaging systems*. En Gaurav Sharma, *Digital color imaging: handbook*. Boca Raton, Florida: CRC Press, p. 239- 268.

GOLDSMITH, B. (2013). *Digitizing Video for Long-Term Preservation: An RFP Guide and Template* [en línea]. New York: Preservation & Conservation Department. New York University Libraries [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: <https://library.nyu.edu/preservation/VARRFP.pdf>.

GREEN, Ph. (ed.) (2010). *Color management understanding and using ICC profiles*. Chichester [UK]: John Wiley & Sons.

ICC [International Color Consortium] (2001). *Specification ICC.1:2001-04. File Format for Color Profiles* [REVISION of ICC.1:1998-09].

ICC (2006). *Specification ICC.1:2004-10 (Profile version 4.2.0.0). Image technology colour management — Architecture, profile format, and data structure* [en línea], [consulta: 10 octubre 2016]. Disponible en: http://www.color.org/ICC1v42_2006-05.pdf.

ICC (2010). *Specification ICC.1:2010-12 (Profile version 4.3.0.0) Image technology colour management - Architecture, profile format, and data structure* [en línea], [consulta: 15 noviembre 2016]. Disponible en: http://www.color.org/specification/ICC1v43_2010-12.pdf.

ICC [s. f.]. *Creating scene-referred images using Photoshop® CS3* [en línea], [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.color.org/scene-referred.xalter>.

ICC [s. f.]. *Overview of scene analysis and color rendering controls in Adobe Photoshop® CS3 Camera Raw* [en línea], [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: http://www.color.org/scene_analysis_and_rendering.xalter.

ISO [International Organization for Standardization] (1999). *Sampling procedures for inspection by attributes – part 1: sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection*. ISO 2859-1: 1999. Geneva: ISO.

ISO (2000). *Photography - Electronic still-picture cameras - Resolution measurements*. ISO 12233:2000. Geneva: ISO.

ISO (2003a). *Photography - Spatial resolution measurements of electronic scanners for photographic images - Part 1: Scanners for reflective media*. ISO 16067-1:2003. Geneva: ISO.

ISO (2003b). *Photography - Electronic still picture imaging - Noise measurements*. ISO 15739:2003. Geneva: ISO.

ISO (2004a). *Photography - Electronic scanners for photographic images - Spatial resolution measurements - Part 2: Film scanners*. ISO 16067-2:2004. Geneva: ISO.

ISO (2004b). *Photography - Electronic scanners for photographic images - Dynamic range measurements*. ISO 21550:2004. Geneva: ISO.

ISO (2006). *Graphic technology and photography – Colour characterisation of digital still cameras (DSCs) -- Part 1: Stimuli, metrology and test procedures*. ISO 17321-1:2006. Geneva: ISO.

ISO (2008). *Colorimetry -- Part 4: CIE 1976 L*a*b* Colour space*. ISO 11664-4:2008 (CIE S 014-4/E:2007). Geneva: ISO.

ISO (2008). *Photography and graphic technology -- Extended colour encodings for digital image storage, manipulation and interchange -- Part 4: European Colour Initiative RGB colour image encoding [eciRGB (2008)]*. ISO/TS 22028-4:2012. Geneva: ISO.

ISO (2009a). Graphic technology and photography - Viewing conditions. ISO 3664:2009. Geneva: ISO.

ISO (2009b). Photography - Electronic still-picture cameras - Methods for measuring opto-electronic conversion functions (OECFs). ISO 14524:2009. Geneva: ISO.

ISO (2012). Graphic technology and photography -- Colour characterisation of digital still cameras (DSCs) -- Part 1: Stimuli, metrology and test procedures. ISO 17321-1:2012. Geneva: ISO.

ISO (2015). Graphic technology -- Displays for colour proofing -- Characteristics. ISO 12646:2015. Geneva: ISO.

ISO (2016). Photography and graphic technology — Extended colour encodings for digital image storage, manipulation and interchange — Part 1: Architecture and requirements. ISO 22028-1:2016. Geneva: ISO.

ITU [International Telecommunication Union] (2004). Objective perceptual assessment of video quality: Full reference television. Geneva: ITU.

KENNEY, A. R. y RIEGER Y. O. (2000). *Moving Theory into Practice: Digital Imaging for Libraries and Archives*. Mountain View, CA: Research Libraries Group.

LOEBICH, C. y WUELLER, D. (2001). Three Years of Practical Experience in Using ISO Standards for Testing Digital Cameras. *Proceedings of the Image Processing, Image Quality, Image Capture Systems Conference (PICS-01)*, Montréal, Quebec, Canada, April 22-25 2001, IS&T 2001, pp. 257-261.

NANDZIK, J. *et al.* (2013). CONTENTUS—technologies for next generation multimedia libraries Automatic multimedia processing for semantic search. *Multimed Tools Appl*, vol. 63, 287–329. DOI 10.1007/s11042-011-0971-2.

NARA [U.S. National Archives and Records Administration] (2001). *Technical Requirements for the Duplication of B&W Negatives: Shadow Normalization Tone Reproduction* [en línea]. (2001) [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.archives.gov/preservation/formats/bw-copying-specs.pdf>.

NATIONAAL ARCHIEF (2010). *Digitisation of photographic materials. Guidelines. September 2010* [en línea], [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en:

http://www.nationaalarchief.nl/sites/default/files/docs/guidelines_digitisation_photographic_materials.pdf.

PASCALE, D. (2003). *A review of RGB Color Spaces* [en línea], [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: http://www.babelcolor.com/index.htm_files/A%20review%20of%20RGB%20color%20spaces.pdf.

PUGLIA, S. (2007). Digital Imaging - How Far Have We Come and What Still Needs to be Done? [en línea]. *RLG DigiNews*, April 15, vol. 11 (1) [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: <http://worldcat.org/arcviewer/1/OCC/2007/08/08/0000070519/viewer/file137.html#artic>.

REINHARD, E et al. (2010). *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting*. 2nd Edition. Morgan Kaufmann.

ROBLEDANO ARILLO, J. (2011). Mejora del rango dinámico en la digitalización de documentos desde una perspectiva patrimonial: evaluación de métodos de alto rango dinámico (HDR) basados en exposiciones múltiples. *Revista española de documentación científica*, vol. 34 (3), 357-384.

ROBLEDANO ARILLO, J. (2014). *Modelos de calidad en la digitalización de patrimonio fotográfico*. En María Olivera Zaldúa y Antonia Salvador Benítez (Editoras), *Del Artefacto Mágico al Pixel. Estudios de Fotografía*. Madrid: Facultad de Ciencias de la Documentación de la UCM, pp. 367-394. ISBN: 84-697-0531-3, 978-84-697-0531-5.

ROBLEDANO ARILLO, J.; MORENO PELAYO, V. y PEREIRA-UZAL, J.M. (2016). Aproximación experimental al uso de métricas objetivas para la estimación de calidad cromática en la digitalización de patrimonio documental gráfico. *Revista Española de Documentación Científica*, 39 (2) e128. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/redc.2016.2.1249>.

ROSSO, P. [s. f.]. *Aplicaciones Fotográficas. Reproducción de obras de arte* [en línea], [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.pacorosso.net/curso/reproducciones.pdf>.

SCANDIG [s. f.]. *Densidad y volumen de densidad en los escáners* [en línea], [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.filmscanner.info/es/Dichte.html>.

SÜSSTRUNK, S. (2002). Color Strategies for Image Databases. AIC: 9th Congress of the International Colour Association. Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). Vol. 4421, pp. 529-536.

Terminología para definir la conservación del patrimonio cultural tangible (traducción de la versión original en inglés 25/03/2008 – rev. 23). Resolución que se presentará a los miembros del ICOM-CC durante la XV a Conferencia Triannual, Nueva Delhi, 22-26 de septiembre de 2008.

TURKUS, B. [s.f.]. Drop Video File(s) Here: The Emergence of Free Quality Control Tools for Video Preservation [en línea], [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en:

https://www.bavc.org/sites/default/files/resource/QCTools_WhitePaper2.pdf.

Video Preservación Website [s. f.]. *Setup of Capture Hardware de la obra Digital migration tools and techniques* [en línea], [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en http://videopreservation.conservation-us.org/dig_mig/index.html.

VITALE, T. y MESSIER, P. (2013). *Video Preservation: Video Migration in the Preservation Laboratory* [en línea], [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: <http://videopreservation.conservation-us.org/index.html>.

WILLIAMS, D. (2010). *Imaging Science for Archivists* [en línea], [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en:

<http://www.docstoc.com/docs/50793406/Imaging-Science-for-Archivists---101-Don-Williams---Image>.

WUELLER, D.; DORMOLEN, H. y JANSEN, V. (2009). *Universal Test Target. Technical Specification* [en línea], [consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.universaltesttarget.com/download/UTT%20technical%20specs.pdf>.

